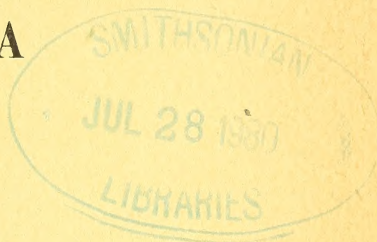
ISSN 0037-8437

ANALES

DE LA

SOCIEDAD CIENTIFICA

ARGENTINA



Director: Dr. PEDRO CATTANEO

205

ENERO–JUNIO 1978 – Entregas I-VI – TOMO CCV

SUMARIO

Avda. SANTA FE 1145
1059 BUENOS AIRES
ARGENTINA

1978

SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

SOCIOS HONORARIOS

Dr. Norman Borlaug
Dr. Luis F. Leloir
Dr. Selman Waksman
Dr. Florentino Ameghino †
Dr. Valentín Balbín †
Ing. Santiago E. Barabino †
Dr. Carlos Berg †
Dr. Germán Burmeister †
Ing. Enrique Butty †
Ing. Vicente Castro †
Ing. Enrique Chanourdie †
Dr. Carlos Darwin †

Dr. Alberto Einstein †
Dr. Enrique Ferri †
Dr. Angel Gallardo †
Dr. Benjamín A. Gould †
Dr. Cristóbal M. Hicken †
Dr. Eduardo L. Holmberg †
Dr. Bernardo A. Houssay †
Ing. Luis A. Huergo †
Ing. Eduardo Huergo †
Dr. Mario Isola †
Dr. Juan J. J. Kyle †

Dr. César Lombroso †
Ing. Guillermo Marconi †
Dr. J. Mendizábal Tamborel †
Dr. Walter Nernst †
Dr. R. A. Phillippi †
Dr. Guillermo Rawson †
Dr. Alfredo Sordelli †
Dr. Carlos Spegazzini †
Dr. Pedro Visca †
Dr. Estanislao S. Zeballos †

JUNTA DIRECTIVA

Presidente .... Ing. Agr. Eduardo Pous Peña
Vicepresidente 1° .... Dr. Máximo Valentinuzzi
Vicepresidente 2° .... Ing. Lucio R. Ballester
Secretario.................. Ing. Agr. Ichiro Misuno
Pro-Secretario .... Dr. Jorge A. L. Brieux
Tesorero .... Agrim. Antonio M. Saralegui
Bibliotecario .... Lic. José María Gallardo
Director de Anales .... Dr. Pedro Cattáneo

Miembros Titulares

Ing. Augusto L. Bacque
Drl Pedro Cattáneo
Ing. Agr. Milán J. Dimitri
Ing. Herman Eliges
Lic. Jose María Gallardo
Dr. Alfredo Manzullo
Ing. Luis V. Migone
Ing. Roque Scarfiello
Dr. Osvaldo Schauer
Dr. Juan Carlos Turner

Miembros Suplentes

Dra. Sara Mabel Abecasis
Cap.Nav.(RE) Mario Raúl Chingotto
Dra. Estrella Aminta Mazzolli de Mathov
Ing. Quím. Carlos A. Leguizamón
Ing. Alberto Puppo
Dr. Jorge R. A. Vanossi

Revisores de Balances Anuales: Ing. Ricardo Hertig y Cont. Púb. Jesús Vázquez Ger

SECCIONES DEL INTERIOR

Comisión Directiva

Sección San Juan:

Presidente: Dr. Indalecio Carmona Ríos; *Vicepresidente:* Dr. Antonio Aguilar; *Secretario:* Agrimensor Orlando de Sanctis Aubone; *Tesorero:* Dr. Duili Graffigna; *Vocales Titulares:* Ing. Fernando Volponi, Prof. César Guerrero,Dr. Emilio Maurin Navarro, Ing. Santiago Graffigna; *Vocales suplentes:* Enólogo Alberto Baistrocchi, Abogada María Augusta Herrera Bustos; Ing. Jorge Avila, Ing. José B. Graffigna; *Revisores de Cuentas*: Ing. Enrique Gatti, Ing. Jorge Fernando Rivera, Ing. Emilio Romito.

Sección Santa Fe:

Presidente : Doctor Argentino A. Bonetto ; *Vicepresidente* : Doctor Ezio Emiliani ; *Secretario*: Profesora Clarice T. Pignalberi de Hassan ; *Tesorero* : Ingeniero Químico Enrique A. Virasoro : *Vocales* : Ingeniero Químico Guillermo Berraz e Ingeniero José M. Parera.

Sección La Plata:

Presidente : Ingeniero Roberto Diego Cotta ; *Vicepresidente* : Ingeniero Camilo B. Rodríguez ; *Secretario* : Doctor Luis M. Boggia ; *Prosecretario*: Ingeniero Horacio C. Albina; *Tesorero*: Doctor Teodoro G. Krenkel ; *Protesorero* : Ingeniero Pedro Diego Jensen ; *Vocales* : Doctor Max Birabén, Doctor Homero Bibiloni, Doctor Jorge J. Ronco, Doctor Rodolfo Disalvo, Doctora Ives L. Danna. Ingeniero Aaron Beilinson e Ingeniero José G. Romano Yalour.

Sección Mendoza:

Presidente : Doctor Sergio Ignacio Vernier ; *Vicepresidente* : Doctor Julio Enrique Cantón ; *Secretario* : Doctor Raúl Sluckich ; *Tesorero* : Doctor José Roberto Morales ; *Protesorero* : Doctora Iris Ferrari de Miri ; *Prosecretario* : Licenciado Humberto N. Najurieta ; *Vocales* : Ingeniero Luis Orlando Melis, Ingeniero Salvador Castro, Doctor Jorge R. Suárez, Doctor Fabio L. Sacerdote, Profesor Diego F. Pró, Profesor Miguel Marzo.

Impreso por R.Kossack, José Martí 463 – Buenos Aires

ANALES

ISSN 0037-8437

DE LA

SOCIEDAD CIENTIFICA

ARGENTINA

Director: Dr. PEDRO CATTANEO

ENERO–JUNIO 1978 – Entregas I-VI – TOMO CCV

Avda. SANTA FE 1145
1059 BUENOS AIRES
ARGENTINA

1978

MIEMBROS PROTECTORES

DE LA

SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

SERIE I. CIENCIAS N° 41 ISSN 0037-8437

PERFIL NORTE-SUR DE VECTOGRAMAS GEOMAGNETICOS DIARIOS EN CONDICIONES TRANQUILAS

Por

OTTO SCHNEIDER*
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Buenos Aires

RESUMEN

No existiendo hasta el presente un estudio sistemático, en territorio argentino, de la modulación que en función de la latitud y a través del año acusa la variación geomagnética solar diaria, se han determinado las características de la misma en seis observatorios argentinos, distribuídos en una cadena Norte-Sur. Algunos resultados se comunican aquí en forma de "vectogramas" representando la proyección horizontal de la variación diaria del vector campo, para días tipo (promedio) de los cuatrimestres de verano, invierno y equinoccios, y su promedio anual, en condiciones geomagnéticas tranquilas y para un mismo nivel de actividad solar mínima, con un promedio anual del número relativo de manchas, inferior a 10.

SUMMARY

The latitudinal and annual modulation of the solar daily geomagnetic variation Sq, which has not been studied systematically over the whole Argentine territory so far, is analyzed in this paper on the basis of a North-South chain of six observatories. Some results are given in the form of vectograms representing the horizontal projection of the daily variation of the field vector for average days of Southern and Northern solstices, Equinoxes, and the whole year, under quiet geomagnetic conditions at minimum solar activity, with a uniform level (annual mean of relative sunspot numbers under 10).

1. OBJETIVOS

Los diagramas que aquí presentamos (Fig. 1) constituyen un resultado parcial de un proyecto de mayor envergadura, tendiente a evaluar las características del régimen de las variaciones geomagnéticas transitorias en territorio argentino. Atendiendo a consideraciones de orden teórico y aplicativo, se dió prioridad, como tema de una primera etapa, al análisis de las variaciones solares y entre ellas, a las tranquilas denominadas Sq. El estudio de Sq en una región limitada de la superficie del planeta reviste un considerable interés geográfico ya que contribuye, entre otros, a los siguientes objetivos: posibilitar una mejor representación global del fenómeno con sus anomalías en longitud y entre hemisferios; determinar la razón entre sus partes de origen externo (ionosférico y magnetosférico) e interno (telúrico) y comparar esta razón con la que resulta de otras variaciones transitorias, caracterizadas por otro espectro temporal; estudiar las corrientes y movimientos termosféricos responsables de Sq; estudiar la influencia que sobre ellos ejerce la variable

*Miembro de la Carrera del Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

actividad solar; servir de valores de referencia del campo en el estudio de otras variaciones transitorias, superpuestas a Sq, y en particular, en la evaluación cuantitativa de la actividad geomagnética; servir de referencia en trabajos de magnetometría, en el área de la Geofísica de Exploración, y diversas otras aplicaciones.

Cabe destacar especialmente que los análisis de alcance planetario que hasta esta parte se han hecho de Sq y sus variaciones espacio-temporales, en general se ven afectados por la notoria escasez de información del Hemisferio Sur. Sin embargo, tales trabajos no aprovecharon en su totalidad los datos de los observatorios argentinos que, alineados en una estrecha franja longitudinal y abarcando una amplia gama de latitudes, constituyen una cadena de disposición geográfica privilegiada. Los investigadores que en las últimas décadas efectuaron análisis globales de esta índole, entre ellos BENKOVA (1940), VESTINE et al. (1947), HASEGAWA y OTA (1950), PRICE y WILKINS (1963), PRICE y STONE (1964), MATSUSHITA y MAEDA (1965) y MATSUSHITA (1967), por lo general utilizan como información básica la variación diurna media mensual (o cuatrimestral) de los elementos geomagnéticos, preferentemente según hora local verdadera, y en condiciones especificadas de actividad solar y geomagnética.

2. TRABAJOS PREVIOS

La conveniencia de disponer de una compilación sistemática del régimen geomagnético en el territorio nacional, que contemplara más que una mera representación del campo cuasi-estacionario (llamado "permanente") y de su variación secular, fue reconocida en diversas ocasiones. Un primer esbozo de los lineamientos generales para lo que podría concebirse como la "climatología" del campo y sus variaciones, fue presentado por LUTZOW-HOLM y SCHNEIDER (1946). En este estudio se incluyeron algunos diagramas análogos a los aquí ofrecidos, pero con el serio inconveniente de una gran laguna de información entre las latitudes de Pilar (Córdoba) e Isla Año Nuevo, ya que los observatorios de Las Acacias y Trelew aún no existían. Para el Observatorio de Pilar solamente, SCHNEIDER (1952) hizo un estudio detallado de Sq y su variabilidad; el mismo autor (SCHNEIDER 1963) también analizó algunos aspectos de la variación solar en Isla Año Nuevo, como resultado lateral de un estudio sobre la marea geomagnética lunar. Datos provisorios, en forma de vectogramas para los seis observatorios hoy explotables, fueron luego expuestos por AFFOLTER y SCHNEIDER (1972), aunque con algunas lagunas; dichos resultados respondían a un proyecto iniciado bajo la dirección del autor en el Observatorio Astronómico de La Plata, y tendiente a promover la elaboración de una representación homogénea del régimen.

Con todo, no se cuenta hasta el presente con un cuadro de Sq que abarque el territorio argentino en toda su extensión latitudinal y satisfaga al mismo tiempo rigurosas exigencias de comparabilidad en cuanto a actividad solar y nivel de actividad geomagnética. Con el presente trabajo se procura dar un paso en dirección a una representación homogénea.

3. LA NATURALEZA FISICA DE Sq

Atendiendo a los objetivos primordialmente aplicativos que hemos formulado en la sección 1, se admitió para Sq la definición que la concibe como un campo "*medio* de variación diaria en días tranquilos" (MATSUSHITA 1967), donde el carácter tranquilo de los períodos incluídos y luego promediados es juzgado, en última instancia, a través de la morfología de las variaciones geomagnéticas registradas en la superficie terrestre, sin considerar parámetros físicos específicos que caractericen la condición ionosférica y magnetosférica instantánea, los modos de oscilación atmosférica responsables, y el estado momentáneo del Sol y del viento solar. Conviene tener presente, sin embargo, que el criterio adoptado, con ser conveniente de un punto de vista pragmático, está lejos de satisfacer todas las exigencias de rigor conceptual (SCHNEIDER 1977). En efecto, caben enfoques más diferenciados, empezando por una separación clara de los diversos campos instantá-

neos que, superponiéndose a Sq, la pueden enmascarar por completo en determinados períodos o lugares. Algunos de estos son de alcance global y otros de incidencia localizada en zonas restringidas. En el campo instantáneo $I(\varphi, \lambda, T)$, variable con la latitud φ, la longitud λ y el tiempo universal T, se pueden distinguir los siguientes aportes, manifiestos con variada incidencia espacio-temporal:

$$I(\varphi, \lambda, T) = G + V + D + E + A + L + Sq^p + O + Z + S + C, \qquad [1]$$

siendo las partes constituyentes:

G: el campo cuasi-estacionario (también llamado "principal", o menos apropiadamente, "permanente");

V: la variación secular;

D: el conjunto de los disturbios (entre ellos, su propia variación diaria SD; la variación en tiempo tormenta Dst; la perturbación residual R, y las pulsaciones P);

E: el campo del electrochorro ecuatorial;

A: el campo del electrochorro auroral;

L: las variaciones geomagnéticas lunares;

S_q^p : una variación solar tranquila, propia de los casquetes polares;

O: un pequeño aporte diario solar de las mareas oceánicas;

Z: el hipotético aporte de una circulación ionosférica zonal;

S: la variación diaria en tiempo solar;

C: las contaminaciones de S por efectos oceánicos y costeros otros que O.

La separación de G y V no presenta dificultades; algunos otros aportes, tales como E, A y Sq^p, pueden ser despreciados en el contexto limitado de nuestro planteo presente, dados los valores de φ de las estaciones contempladas (Tabla I). En lo que respecta a L, su eliminación se considera, por lo general, asegurada por el proceso de promediar para horas fijas de tiempo solar, pero esto no solamente es una aproximación insuficiente en muchos casos (SCHNEIDER 1969), sino que es inaplicable al estudio de situaciones instantáneas, en lugar de promedios. De los campos parciales que componen al conjunto D, algunos (Dst, P y R) son de fácil identificación, en tanto que SD ofrece la dificultad fundamental de suponer el conocimiento de Sq, y ninguno de ellos puede, por el momento, definirse sin recurrir a una discriminación morfológica.

La suma de los últimos cuatro sumando de la (1) podría considerarse como definiendo una Sq provisoria y sujeta a las depuraciones que el conocimiento de O, Z y C permitiera; lamentablemente, éste es aun precario, lo que origina un cierto grado de ruido en las determinaciones. En lo que se refiere a la parte hipotética Z, supuestamente continua, su desconocimiento causa alguna arbitrariedad inevitable en la adopción de un nivel racional de origen para la parte variable de Sq (PRICE y STONE, 1964).

Si de este modo queda puesto en evidencia que el concepto de Sq es híbrido, al carecer de criterios físicos suficientes para su definición rigurosa, aunque se lo defina como una distribución *promediada*, y estar basado en parte sobre consideraciones morfológicas, no se está en una posición mas rigurosa cuando se quiere representar distribuciones *instantáneas* del campo de la variación diaria solar tranquila, como lo han intentado diversos investigadores, por ejemplo en la década pasada, PRICE (1967) y SUGIURA y HAGAN (1967). Estos últimos autores, analizando las tres componentes del campo en 66 estaciones de latitudes medias y bajas, obtuvieron 120 representaciones planetarias, hora por hora, del potencial escalar de Sq

$$V(r, \varphi, \lambda, \tau) = a \sum_{n=1}^{4} \sum_{m=0}^{n} P_n^m \cos((\pi/2) - \varphi) \cdot [(g_n^{me}(T) \cos m\lambda + h_n^{me}(T) \operatorname{sen} m\lambda)(r/a)^n +$$

$$+ (g_n^{mi}(T) \cos m\lambda + h_n^{mi}(T) \operatorname{sen} m\lambda)(a/r)^{n+1}] \qquad [2]$$

adoptando valores fijos sucesivos del tiempo universal T. En la [2], a es el radio terrestre y r la distancia geocéntrica al punto genérico. Es evidente que son muy contados los intervalos de tiempo tan prologandos como el del mencionado estudio, que ofrezcan condiciones razonables de ausencia de campos ajenos a Sq.

PRICE y STONE (1964), al analizar la cuestión de la existencia del campo Z, llegaron a la conclusión de que era imposible, por el momento, descubrir tal aporte. Esta situación, que subsiste, se traduce en una indeterminación en cuanto al nivel de origen a partir del cual se han de considerar las desviaciones instantáneas de las componentes norte y vertical, respectivamente. En ausencia de un mejor criterio, se ofrecen como valores de origen para las componentes ΔX, ΔY, ΔZ del campo instantáneo Sq el promedio diario o bien el nivel nocturno. En el presente análisis hemos adoptado este último criterio, con el cual se optimiza la definición racional de los valores momentáneos y amplitudes diarias, las que son requeridas en estudios ulteriores, todo ello sin perjuicio de que existe un campo Sq residual nocturno (ASHOUR y PRICE 1965). La alternativa antes mencionada (el promedio diario como origen) es menos conveniente, en vista de la poca estabilidad de este valor.

4. SELECCION DE LOS DATOS

En la actual etapa del estudio se trataba de hallar las componentes norte, ΔX, y este, ΔY, de la variación Sq media en condiciones de actividad solar mínima, como así también su modulación durante el año y en función de la latitud, aprovechando al máximo la gama de latitudes abarcada por los observatorios geomagnéticos argentinos. En la selección de los datos era menester satisfacer severas exigencias de homogeneidad en cuanto a actividad solar y ausencia de perturbaciones geomagnéticas, y compatibilizar la decisión con la disponibilidad de información en los observatorios. El hecho de que éstos, en su mayoría, no hayan funcionado simultáneamente unos con otros, y que los registros de varios de ellos acusen lagunas, a veces sensibles, tornó muy dificultosa la selección. Una limitación adicional resultó de la conveniencia de contar en cada caso con datos pertenecientes a un intervalo coherente de 12 meses consecutivos, ya que es el promedio de la actividad solar a largo plazo, antes que su nivel diario, el que determina su incidencia en Sq (WILKES 1962). Esta exigencia se satisfizo explorando la marcha, mes por mes, de promedios dodecamensuales de los números relativos de manchas solares y buscando sus niveles mínimos en los diversos ciclos solares.

Las sucesiones diarias individuales de valores horarios se eligieron, todas las veces que ello fue posible, según Tiempo Local, para así minimizar los efectos de la variabilidad interdiurna de Sq sobre las diferencias internocturnas ("marcha no cíclica"). Esto obligó a abandonar la selección de los cinco días internacionales Q como criterio único de admisión, ya que ellos están basados en Tiempo Universal. Dado que el día local en las estaciones argentinas abarca entre unas 3 y 4 horas del día universal posterior a la fecha, ("intervalo no coincidente") los 5 días internacionales Q sólo pudieron ser utilizados como una selección previa, efectuándose luego un examen del grado de tranquilidad en los intervalos no coincidentes. Ello dió lugar, conjuntamente con otras consideraciones (lagunas en los registros), a una selección modificada en muchos casos, procurándose siempre, sin embargo, hallar niveles de baja actividad geomagnética comparables con el de los días Q descartados. Para esta selección se recurrió a los valores *ap* de actividad y a las tablas publicadas por MAYAUD (1973). Sólo cuando fue imposible hallar una sucesión diaria equivalente a otra descartada o incompleta, se renunció al principio del número fijo de cinco días por mes.

Las limitaciones expuestas obligaron, en su conjunto, a optar por un agrupamiento cuatrimestral, antes que mensual o bimestral, a fin de asegurar el número mínimo indispensable de integrantes en cada uno de los conjuntos formados para estudiar la modulación anual. Se adoptó la subdivisión de Lloyd, agrupando los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero en el cuatrimestre SS (solsticio del Sur), mayo, junio, julio y agosto en el grupo SN (solsticio del Norte), y marzo, abril, setiembre y octubre en el grupo EQ (equinoccios). En la mayoría de los casos se logró reunir en cada grupo un número de 20 días.

TABLA I

DATOS UTILIZADOS

Observatorio	*Latitud Sur*	*Longitud Oeste*	*Período analizado*		*Actividad solar (Promedio número relativo manchas)*
			desde	*hasta*	
La Quiaca	22°06′	65°36′	Mayo 64	Abril 65	9.7
Pilar	31°40′	63°53′	Set. 43	Agosto 44	7.6
Las Acacias	35°00′	57°41′	Mayo 64	Abril 65	9.7
Trelew	43°15′	65°19′	Mayo 64	Abril 65	9.7
Isla Año Nuevo	54°39′	64°09′	Abril 02	Marzo 03	6.8
Orcadas del Sur	60°44′	44°47′	Set. 32	Agosto 33	7.6

En la Tabla I se puede apreciar la nómina de los observatorios incluídos, sus coordenadas geográficas, los períodos elegidos en cada caso, y el promedio dodecamensual del número relativo de manchas solares correspondiente a cada uno de ellos. La Tabla II consigna las fechas elegidas para cada observatorio. En total se emplearon para el estudio unos 17.000 valores horarios individuales, en parte inéditos (gentileza del Servicio Meteorológico Nacional y del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata), y en parte extractados de las publicaciones pertinentes (Servicio Meteorológico Nacional 1951; y 1969; Ministerio de Marina 1912).

TABLA II

FECHAS UTILIZADAS

La Quiaca						*Pilar*						*Las Acacias*					
V-64	4	7	8	9	12	IX-43	7	16	18	20	24	V-64	3	6	7	31	
VI	3	5	6	16	17	X	6	14	15	16	18	VI	4	5	6	16	17
VII	14	15	24	27	28	XI	11	13	14	15	17	VII	1	14	15	27	28
VIII	2	20	23	24		XII	6	11	12	13	28	VIII	14	20	23	24	29
IX	11	14	15	19	20	I-44	3	4	6	7	30	IX	12	13	14	19	20
X	2	10	11	15		II	3	18	24	25	27	X	10	22	23	30	31
XI	14	19	20	24	25	III	1	3	15	17	24	XI	6	13	14	19	21
XII	11	12	27	30	31	IV	13	14	19	22		XII	5	12	27	30	31
I-65	5	6	24	25	30	V	13	16	18	20	21	I-65	5	6	11	24	25
II	1	2	12	17		VI	3	7	8	10	12	II	1	2	12	17	18
III	8	10	11	18	30	VII	24	25	26	27	28	III	8	9	10	11	18
IV	2	3	16	21	28	VIII	20	21	25	26	29	IV	1	2	3	21	28

Trelew						*Isla Año Nuevo*						*Orcadas*					
V-64	7	8	12	19	20	IV-02	15	25	26	27	29	IX-32	3	10	11	16	17
VI	4	5	6	16	17	V	3	6	11	12	22	X	6	13	14	26	28
VII	1	14	15	27	28	VI	2	3	8	20	23	XI	6	9	10	22	24
VIII	14	20	23	24	29	VII	2	6	17	21	31	XII	5	7	12	21	23
IX	12	13	14	19	20	VIII	5	12	13	14	30	I-33	4	5	10	11	21
X	10	22	23	30	31	IX	7	8	9	14	24	II	6	11	13	16	17
XI	13	14	19	20	24	X	7	10	14	16	22	III	5	6	7	9	16
XII	5	12	27	30	31	XI	4	5	11	28	29	IV	11	12	13	28	29
I-65	5	6	11	24	25	XII	4	6	8	18	31	V	9	10	12	24	26
II	1	2	12	17	18	I-03	1	7	15	17	29	VI	5	6	16	18	24
III	8	9	10	11	18	II	1	2	18	27	28	VII	13	14	15	21	30
IV	1	2	3	16	21	III	16	17	25	26	27	VIII	1	9	10	11	31

5. PROCESADO DE LOS DATOS

Con excepción del Observatorio de las Orcadas del Sur, donde los datos originales (SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL 1951) son suceciones de 24 valores horarios medios mensuales de la componente horizontal H y la declinación D en los días internacionales Q, los datos primitivos estaban dados en forma de valores horarios individuales análogos, referidos a un origen convencional. La escala de tiempo tiene por origen, en el caso de Isla Año Nuevo, la hora cero de tiempo local (prácticamente idéntico a la del meridiano de Córdoba que regía la hora oficial en aquella época), y en los demás casos, la hora cero del huso horario más próximo. El procesado de los datos comprendía, en esencia, las siguientes etapas: eliminación, por interpolación lineal, de la marcha no cíclica; reducción a desvíos ΔH, en nano-Tesla (nT), y $\Delta D'$, en minutos de arco, respecto de la medianoche local; conversión a componentes cartesianas mediante

$$\Delta X = \Delta H \cos D - \Delta D^r H \operatorname{sen} D$$
$$\Delta Y = \Delta H \operatorname{sen} D + \Delta D^r H \cos D \qquad [3]$$

con $\Delta D^r = D'/3438$, siendo $1' = (1/3438)$ radián. El uso de las fórmulas [3] reporta cierta economía en las operaciones numéricas, en contraste con el procedimiento seguido por PRICE y STONE (1964), quienes ante la indeterminación del valor origen de Sq no habían adoptado ningún punto de referencia *ad hoc*, convirtiendo en cambio las magnitudes completas de H y D.

Por último se procedió a promediar los ΔX, ΔY en los cuatro meses de cada grupo cuatrimestral, y en los tres grupos para hallar los promedios anuales. Con carácter tentativo se efectuó también una interpolación trigonométrica, mediante análisis armónico de los valores medios horarios ΔX, ΔY resultantes y posterior síntesis, a fin de facilitar la transición de las escalas horarias provisorias a tiempo local riguroso. En la etapa actual del estudio, sin embargo, no se hizo uso de este artificio, el que por otra parte es susceptible de perfeccionamiento, como lo demostró un examen de la rugosidad residual de las variaciones en horas nocturnas.

6. RESULTADOS

Los vectogramas de la Figura 1 representan proyecciones sobre el plano horizontal, de la variación diaria solar del vector geomagnético en días tranquilos; están ordenados según la latitud y agrupados por estaciones del año (columnas), e incluyen también, en la última columna, la

marcha media anual de cada observatorio. La escala física, al pie, indica unidades de nano-Tesla, equivalentes a la antigua unidad gama. Los números al lado de cada vectograma expresan el tiempo local medio (riguroso, no del huso horario) de cada observatorio; también se han marcado intervalos bihorarios intermedios. La hora local cero, no acotada expresamente, está dada por el origen de coordenadas, en concordancia con el criterio adoptado, de no admitir ningún aporte de campos de corrientes zonales del tipo Z de la fórmula (1).

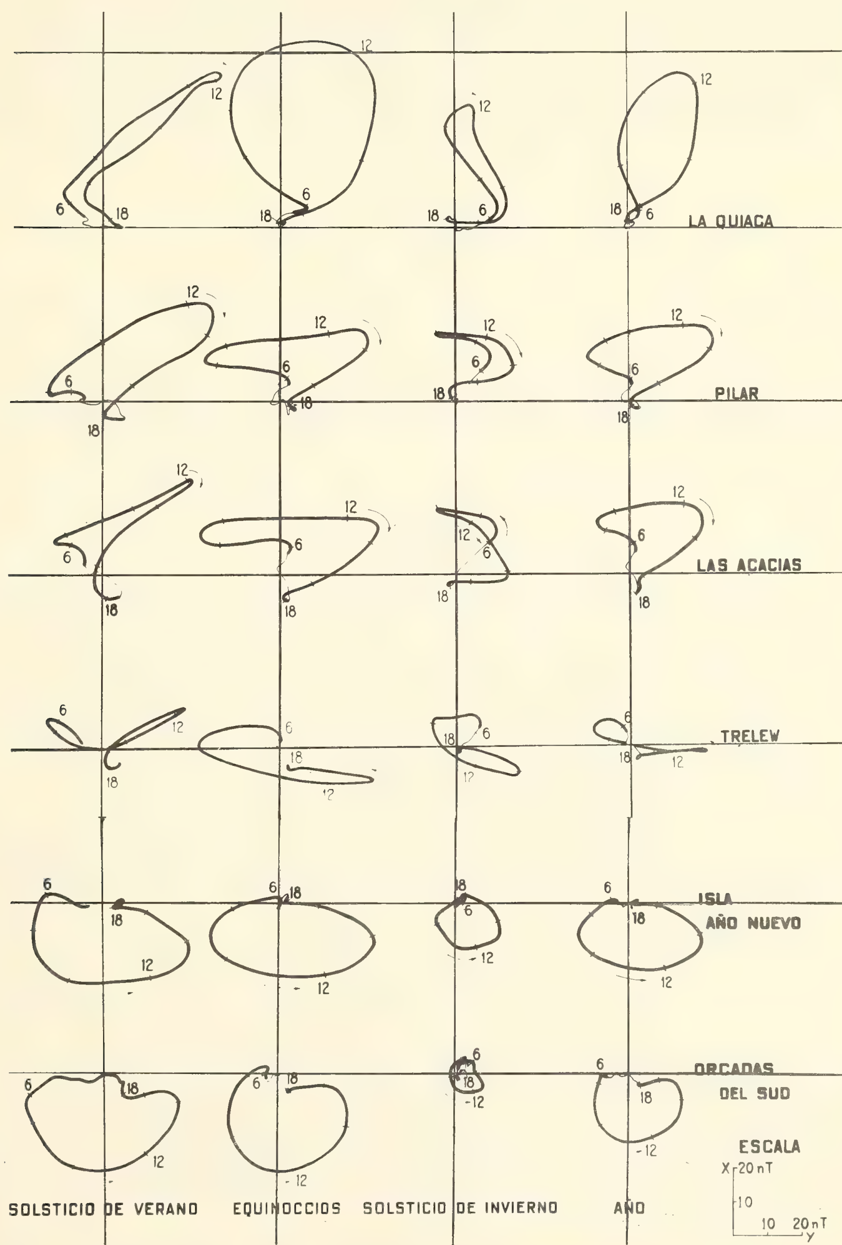


Figura 1. *Marcha media de la proyección horizontal del vector geomagnético en días tranquilos de baja actividad solar*

En cada vectograma se distingue la parte diurna del recorrido mediante un trazo reforzado. Como comienzo y fin del tramo diurno así destacado se eligió el momento de la salida y puesta del sol a un nivel ionosférico considerado representativo (105 km), en la latitud del observatorio respectivo. Estamos conscientes de que este modelo simple no puede hacer justicia completamente a la realidad aeronómica asociada con la génesis de Sq, pero de todos modos la aproxima mejor que una salida y puesta del sol al nivel del suelo. Además, debe tenerse presente que cada vectograma resultó de promediar unas veinte marchas diarias individuales cuyas fechas se hallan repartidas a través del cuatrimestre (aunque no de un modo rigurosamente uniforme, como lo demuestra la Tabla II). Atendiendo a ello se consideró oportuno elegir como día tipo, a los efectos de calcular la puesta y salida del Sol, no la "fecha media" del intervalo cuatrimestral en el sentido aritmético, sino aquellas correspondientes al valor medio de la declinación del Sol. Para estos promedios cuatrimestrales (y el anual) pueden adoptarse los valores $\delta_{SS} = -19°$; $\delta_{SN} = +19°$; $\delta_{EQ} = \delta_{\text{Año}} = 0$, como suficientemente precisos. Ellos resultan de considerar, para el solsticio del Sur, por ejemplo,

$$\overline{\delta}_{SS} \approx f \cdot \delta_{SS} \qquad [4]$$

con

$$f = (3/2\pi) \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \operatorname{sen} \tau \, d\tau = 0{,}827 \qquad [5]$$

y

$$\delta_{SS} = -23°{,}5$$

y análogamente para el otro solsticio.

Obsérvese en la figura que el vectograma de verano para las Orcadas del Sur es de carácter "diurno" en toda su extensión, no acusando salida ni puesta del Sol. Ello resulta de las convenciones adoptadas.

7. COMENTARIOS

a) Al examinar las características de las variaciones es recomendable no asignar una importancia indebida al *área* encerrada por cada vectograma, ya que es una propiedad que carece de significado físico directo.

b) En todos los casos se destaca el carácter primordialmente diurno solar de Sq; el recorrido nocturno, por lo general, es atrofiado e irregular. Las futuras investigaciones deberán poner énfasis en la necesidad de separar, dentro de la marcha nocturna, las contribuciones sistemáticas y el ruido residual, indudablemente presente.

c) En las horas centradas alrededor del mediodía local, la marcha del vector campo horizontal es dextrógira para las tres localidades en la parte norte del perfil, hasta Las Acacias inclusive, cambiando a levógira de Trelew hacia el Sur. (Cambio latitudinal de polarización).

d) Las amplitudes de la componente norte (X) disminuyen en forma acentuada desde La Quiaca hasta Trelew, para luego aumentar nuevamente hacia el Sur, pero con signo opuesto. Esta conocida particularidad de la marcha latitudinal de Sq (X) o Sq (H) es la responsable, en primer lugar, de la inversión en la polarización de Sq.

e) La variación latitudinal de Sq (Y) es poco pronunciada, también en concordancia con los rasgos conocidos de su distribución global (o la de la declinación D).

f) Los caracteres enunciados en los puncos *c*, *d* y *e* concuerdan con el modelo generalmente aceptado (CHAPMAN y BARTELS 1940) del "sistema equivalente de corrientes ionosféricas" capaz de generar el fenómeno Sq.

g) Los vectogramas de Trelew reflejan la particularidad de la posición de dicha estación en la proximidad del foco del citado sistema equivalente de corrientes. La forma atrofiada de las trayectorias podría ser consecuencia de resultar ellas de la superposición de días indi-

viduales en los que la estación se hallaba en posición "subecuatorial" respecto del foco, con otros de posición "subpolar" (AFFOLTER y SCHNEIDER, 1969).

h) Es elocuente la marcada diferencia, en cuanto a la intensidad de la modulación anual, que existe entre las dos estaciones más australes (Orcadas en particular) y las situadas en latitudes más bajas. Esta característica resulta de la pronunciada variación anual en la duración del día (y por ende, en el goce de radiación térmica e ionizante) que prevalece en altas latitudes, en comparación con localidades situadas más lejos de los polos.

i) La aparente anomalía en la amplitud de Sq(X) durante los equinoccios que se registra en La Quiaca, no se puede atribuir a irregularidades de la observación o el procesado de los datos, ya que la misma preponderancia inesperada de este cuatrimestre respecto del de verano también se observa en Huancayo, Perú.

j) Es llamativo y alentador el alto grado de coherencia que se nota entre resultados de tan diversos orígenes como los aquí utilizados, pertenecientes a épocas muy espaciadas entre sí, y obtenidos con técnicas diferentes.

8. RECONOCIMIENTO

Es un grato deber dejar constancia del apoyo recibido de las siguientes Instituciones y personas que concurrieron en posibilitar la realización de este trabajo:

a) La Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional otorgó al autor facilidades de trabajo en el Instituto de Geofísica; acceso a archivos y datos inéditos; y ayuda en la confección de los dibujos, tarea que estuvo a cargo del Sr. A. R. Politi.

b) La Dirección del Observatorio Astronómico dependiente de la Universidad Nacional de La Plata facilitó los datos de Trelew y Las Acacias.

c) El Instituto de Cálculo de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, tuvo a su cargo el procesado, por computadora, de una parte de los datos y prestó su asesoramiento para el mismo.

d) El procesado de los datos de las Orcadas del Sur fue realizado cuando el autor se desempeñaba en el Instituto Antártico Argentino, estando las tareas de computación a cargo de la Srta. Catalina T. Cano.

e) Una parte inicial del trabajo se desarrolló en el Observatorio de La Plata, donde conté con la cooperación de mi siempre recordado colaborador el Geofísico Hugo R. Affolter, y la del Sr. Horacio A. Games, en la parte correspondiente a programación de computadora.

f) Durante aquella etapa tuve el beneficio de un subsidio de la Comisión de Investigación Científica de la Provincia de Buenos Aires, para desarrollar el proyecto "Variaciones Geomagnéticas Quietas en Territorio Argentino" (Legajo 235/1970).

BIBLIOGRAFIA

AFFOLTER, H. R. y SCHNEIDER, O. (1969): Sistemas ternarios de las variaciones geomagnéticas diarias. *Geoacta, 5,* 56-57.

AFFOLTER, H. R. y SCHNEIDER, O. (1972): Variaciones geomagnéticas tranquilas en territorio argentino. Presentado en las Reuniones Científicas Informativas, Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, La Plata, Noviembre 1972.

ASHOUR, A. A. y PRICE, A. T. (1965): Night-time earth currents associated with the daily magnetic variations. *Geoph. J. R. Astr. Soc. 10* (1), 1-15.

BENKOVA, N. P. (1940): Spherical harmonic analysis of the Sq variations. *Terr. Magn. and Atm. Electr. 45,* 425-432.

CHAPMAN, S. y BARTELS, J. (1940): Geomagnetism. Oxford University Press.

HASEGAWA, M. y OTA, M. (1950): On the magnetic field of Sq in the middle and lower latitudes during the Second Polar Year. Intern. Assoc. Terr. Magn. and Electr., Transactions Oslo Meeting, *IATME Bull N° 13*, 426 y 431.

LÜTZOW-HOLM, O. y SCHNEIDER, O. (1946): Rasgos generales del régimen geomagnético de la República Argentina. Presentado en la 10a. Semana de Geografía (GAEA), Buenos Aires y La Plata, setiembre de 1946.

MATSUSHITA, S. (1967): Solar quiet and lunar daily variation fields. *Physics of Geomagnetic Phenomena* (Ed. S. Matsushita and W. H. Campbell), vol. 1, 301-424.

MATSUSHITA, S, y MAEDA, H. (1965): On the geomagnetic solar quiet daily variation field during the IGY. *J. Geoph. Res. 70*, 2535-2558.

MAYAUD, P. N. (1973): A hundred year series of geomagnetic data 1868-1967; Indices *aa*; Storm sudden commencements. *IAGA Bulletin N° 33*. (International Union of Geodesy and Geophysics, Association of Geomagnetism and Aeronomy). Paris.

MINISTERIO DE MARINA (1912): Resultados del Observatorio "Isla de Año Nuevo", Tomo I, Magnetismo, Años 1902-1903-1904 y 1905. Buenos Aires.

PRICE, A. T. (1967): Sq Variations (Abstract). Joint IQSY/COSPAR Symposium on the Results of the IQSY; IV IQSY Assembly, X COSPAR Meeting, London July 1967; 38-9.

PRICE, A. T. and D. J. STONE (1964): The quiet-day magnetic variations during the IGY. *Annals IGY. XXXV*, Part III, 65-269.

PRICE, A. T. and WILKINS, G. A. (1963): New Methods for the analysis of geomagnetic fields and their application to the Sq field of 1932-3. *Phil. Trans. R. Soc. London, A256* (1066), 31-98.

SCHNEIDER, O. (1952): Acerca de la variación geomagnética de días tranquilos, en Pilar. *Meteoros*, Año II, Nros. 3-4, 149-165.

SCHNEIDER, O. (1963). La variación geomagnética lunar en Isla Año Nuevo. Presentado en la XIIIa. Asamblea General de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, Berkeley, Agosto 1963.

SCHNEIDER, O. (1969): Lunare Reste im mittleren Sq. *Gerlands Beiträge zur Geophysik, 78* (2), 115-119.

SCHNEIDER, O. (1977). Sq, a hybrid concept and its stepwise rationalization. Resumen en: Joint IAGA-IAMAP Assembly, Seattle, 1977; Symposium on "Electric Currents and Atmospheric Motion in the Lower Thermosphere" (en prensa).

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (1951): Datos climatológicos y geomagnéticos, Islas Orcadas del Sur, Período 1903-1950. Serie B, 1ra. Sección, 1ra. Parte, N° 11.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (1969): Anales Geomagnéticos. Observatorio Geofísico La Quiaca, 1964, Publicación B, N° 11; idem La Quiaca 1965, Publicación B, N° 15 (publicado en 1969).

SUGIURA, M. and HAGAN, M. P. (1967): Universal-time changes in the geomagnetic solar quiet daily variation Sq. *Sci. Rep. Nat. Sci. Found.* NSF GA-478.

VESTINE, E. H., Lange, I., LAPORTE, L. y SCOTT, W. E. (1947): The solar daily variation on quiel days. En: The Geomagnetic Field, its Description and Analysis. Carnegie Institution of Washington Publication 580, 129-169.

WILKES, M. V. (1962): The solar and luni-solar harmonic components of geomagnetic variation at San Fernando. *J. Atm. Terr. Phys., 24*, 73-92.

SERIE I. CIENCIAS N° 41 ISSN 0037-8437

ESCURRIMIENTO DE LIQUIDOS EN TUBOS ELASTICOS

Generación de una onda de choque

Por

F. R. MARSICANO* y A. R. INTROZZI**

RESUMEN

Se estudia la posible existencia de una onda de choque y su generación a partir de un escurrimiento por ondas simples con especiales condiciones de contorno, suponiendo líquido ideal en movimiento irrotacional unidimensional sin fuerzas por unidad de volumen, dentro de un tubo elástico cilíndrico con paredes de espesor constante.

INTRODUCCION

Como hemos señalado repetidas veces [1] [2] la ecuación resolvente en el potencial de las velocidades Φ de un escurrimiento como el indicado en el resumen, resulta ser una ecuación en derivadas parciales del tipo de Hugoniot:

$$\left(\frac{3}{2}p^2 - q\right)\Phi_{xx} + 4\,p\,\Phi_{x\tau} + 2\,\Phi_{\tau\tau} = 0 \qquad (1)$$

donde, como es habitual, hemos hecho:

$$p = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \Phi_x\,; \qquad q = \frac{\partial \Phi}{\partial \tau} = \Phi_\tau \qquad (2)$$

Por otra parte, p es la velocidad adimensional:

$$p = \frac{v}{\sqrt{\alpha}}$$

con v velocidad en la única dirección del movimiento y $\alpha = E\,h/\rho\,R_0$ con E módulo elástico del tubo; h espesor de la pared del tubo; ρ densidad del líquido; R_0 radio interno del tubo.

En cuanto a q está relacionada con la elongación transversal adimensional $\xi = R/R_0$ según la expresión [2]:

$$\xi^{-1} = q + \frac{p^2}{2} \qquad (3)$$

* Del Consejo de Inv. Cient. y Téc. Rep. Arg. Dto. Física, Fac. de Ing. Universidad de Bs. As.

** Del Instituto Nacional de Invs. Cardiovasculares.

La presión adimensional $P^* = P/\rho_\alpha$ está dada por la expresión [3]:

$$P^* = P_0^* - \xi^{-2} \tag{4}$$

con:

P_0^* = constante;

P = presión en la dimensión correspondiente;

x y τ son la abscisa y el tiempo adimensionales, dados respectivamente por:

$$x = X^*/\ell\,; \qquad \tau = T\sqrt{\alpha}/\ell$$

con:

X^* = abscisa real contada a partir del origen;

ℓ = longitud del tubo;

T = tiempo real.

Las características de la ecuación [1] están dadas por el siguiente sistema de Pfaff [4]:

$$\begin{cases} d\Phi = p\,dx + q\,d\tau \\ dp + \lambda_2\,(p;q)\,dq = 0 \\ d\tau - \lambda_1\,(p;q)\,dx = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} d\Phi = p\,dx + q\,d\tau \\ dp + \lambda_1\,(p;q)\,dq = 0 \\ d\tau - \lambda_2\,(p;q)\,dx = 0 \end{cases} \tag{5}$$

con $\lambda_1\,(p;q)$ y $\lambda_2\,(p;q)$ raíces de la ecuación algebraica en m:

$$\left(\frac{3}{2}p^2 - q\right)m^2 - 4pm + 2 = 0 \tag{6}$$

La integración de las segundas ecuaciones de los sistemas (5) es inmediata y conduce a las dos integrales primeras siguientes:

$$U\,(p, q) = C_1 \tag{7}$$

$$V\,(p; q) = C_2 \tag{8}$$

C_1 = constante; C_2 = constante.

Cada una de las (7) (8) es la ecuación de una *superficie desarrollable*; en efecto, por derivación de la [7] por ejemplo, se obtiene:

$$\frac{\partial U}{\partial p}\,\Gamma + \frac{\partial U}{\partial q}\,s = 0; \qquad \frac{\partial U}{\partial p}\,s + \frac{\partial U}{\partial q}\,t = 0$$

de donde:

$$\Gamma t - s^2 = 0$$

que es la ecuación de las superficies desarrollables, habiendo indicado, como es costumbre, con Γ a Φ_{xx}; con S a $\Phi_{x\tau}$ y con t a $\Phi_{\tau\tau}$.

Las características de la ecuación (7) están dadas por el sistema:

$$\frac{dx}{\frac{\partial U}{\partial p}} = \frac{d\tau}{\frac{\partial U}{\partial q}} = \frac{d\Phi}{p\,\frac{\partial U}{\partial p} + q\,\frac{\partial U}{\partial q}} = ;\ dp = 0; \quad dq = 0$$

por lo tanto, sobre las características de Monge (5) se tiene:

$$\begin{aligned} \tau &= \lambda_2\,(p_i\,q)\,x - g'\,(q) \\ \Phi &= px + q\tau + g\,(q) \end{aligned} \tag{9}$$

con $g(q)$ función arbitraria de q

La familia de rectas de eduación (9) engendra una superficie desarrollable; la arista de retroceso se proyecta sobre el plano físico $(x\,\tau)$ según una curva (onda de choque) envolvente de la proyección de las rectas dadas por (9), por lo tanto sus ecuaciones paramétricas son:

$$\tau = \lambda_2\,(p_i\,q)\,x - g'(q)$$

$$x\,\frac{d\,\lambda_2}{d\,q} = g''(q) \tag{10}$$

Condiciones iniciales según las cuales puede desarrollarse una onda de choque.

Para el caso de la ecuación de Hugoniot (1) la integral (7) está dada por [2]:

$$p + 2\sqrt{p^2 + 2\,q} = \mathrm{C} = \mathrm{Cte.} \tag{11}$$

mientras que λ_2 vale [2]:

$$\lambda_2 = \frac{4\,p + 2\sqrt{p^2 + 2\,q}}{3\,p^2 - 2\,q} \tag{12}$$

Si elegimos $\mathrm{C} = 4$ y hacemos el cambio de variable

$$q = \frac{16 - \mathrm{Z}^2}{6}$$

se obtiene:

$$\lambda_2 = 2\,\mathrm{Z}^{-1} \tag{13}$$

$$p = \frac{2}{3}\,(\mathrm{Z} - 2) \tag{14}$$

Si además suponemos que en el origen $(x = 0)$ es:

$$\tau = -g'(q) = \frac{1}{3}\,(\mathrm{Z} - 2) \tag{15}$$

entonces se obtiene, por derivación:

$$g''(q) = \mathrm{Z}^{-1}$$

$$\frac{d\,\lambda_2}{d\,q} = \frac{d\,\lambda_2}{d\,Z}\,\frac{d\,Z}{d\,q} = 6\,Z^{-3}$$

y por lo tanto las ecuaciones (10) de la onda de choque en el plano físico $(x\,\tau)$, son, en este caso:

$$\tau = \frac{2}{3}\,(\mathrm{Z} - 1)$$

$$x = \frac{1}{6}\,\mathrm{Z}^2 \tag{16}$$

válidas para $\mathrm{Z} \geqslant 2$, lo que indica que la onda de choque que nace en $\tau = \frac{2}{3}$; $x = \frac{2}{3}$ y termina en $\tau = \frac{2}{3}(\sqrt{6} - 1)$; $x = 1$, después de lo cual puede reflejarse total o parcialmente de acuerdo a las condiciones impuestas en el extremo $x = 1$. Veamos ahora que significado físico

tiene la condición (15) en el origen, con la cual hemos obtenido la onda de choque (16). Para ello es de notar que de (14) y (15) se obtiene (en $x = 0$):

$$p = 2\,\tau \tag{17}$$

es decir, en el origen la velocidad adimensional p debe crecer linealmente con el tiempo según la ley (17). Por otra parte, de (3) y (4) tomando $P_0^* = 2$ se obtiene; en el origen:

$$P^* = 2\,\tau - \frac{\tau^2}{2} \tag{18}$$

es decir una ley cuadrática en el tiempo para la presión. Cambiando la función arbitraria $g'(p)$ dada por (15) cambia también la función velocidad y presión en el origen, pudiendo lograrse diferentes ondas de choque con diferentes puntos de iniciación y aún lograr escurrimientos tales que no admiten onda de choque dentro del rango de movimiento $0 \leqslant x \leqslant 1$. También pueden lograrse ondas de choque partiendo de un escurrimiento que no sea por ondas simples, tal como se indica en las referencias [5] [6].

BIBLIOGRAFIA

[1] F. R. MARSICANO: "Escurrimiento de líquidos en tubos elásticos" An. Soc. Cient. Arg. T. CXCI. Entregas III-IV, 1971.

[2] id. id. T. CXCVII. Entregas I-III, 1974; T. CCI. Entregas I-IV, 1976.

[3] J. LAMBERT: "On the non linearities of fluid flow in non rigid tubes", J. of the Franklin Inst. Vol. 266 nº 2, agosto 1958.

[4] C. JACOB: "Introduction mathématique a la mecánique es fluides", Paris Gauthier-Villars, 1959.

[5] G. RUDINGER: "Shock Waves in Mathematical Models of the Aorta", 12th. International Congress of Applied Mechanics, Stanford University, 1968.

[6] R. COLLINS, P. FLAUD, D. GEIGER, Y. KIVITY y C. ODDOU: "Propagation of shock like waves in long viscoelastic tubes", Euromech. 68, Varna, septiembre 15-18, 1975.

 ISSN 0037-8437

CONSTANTES DE DISTORSION CENTRIFUGA Y ESPECTRO DE MICRO-ONDAS DE LA MOLECULA CLORURO DE ACIDO BENCENO-SULFONICO

Por

CARLOS H. GOMEZ, ROBERTO R. FILGUEIRA[1]

LUIS M. BOGGIA y OSCAR M. SORARRAIN[2]

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Miembros Carrera del Investigador Conicet, 2 Miembro Comisión Investigaciones Científicas Pcia. Bs. As.

RESUMEN

En la presente publicación se *muestran* las constantes rotacionales y de distorsión centrífuga derivadas de una serie de transiciones rotacionales correspondientes a la molécula CH = CH – CH = CH – CH = C – $SCLO_2$ Estos valores son confrontados con los datos obtenidos con el espectrógrafo de micro-ondas de la Universidad de La Plata.

ABSTRACT

In the present paper are shown the rotational and centrifugal distorsion constants derived from a group of rotational transitions for the molecule CH = CH – CH = CH – CH = C – $SClO_2$. These values are checked with the experimental data obtained with the microwave spectrograph of the University of La Plata.

La estructura molecular correspondiente al cloruro de ácido benceno-sulfónico consta de un anillo bencénico a uno de cuyos carbonos se liga el azufre, y a este último elemento un cloro y dos oxígenos, ver figura 1.

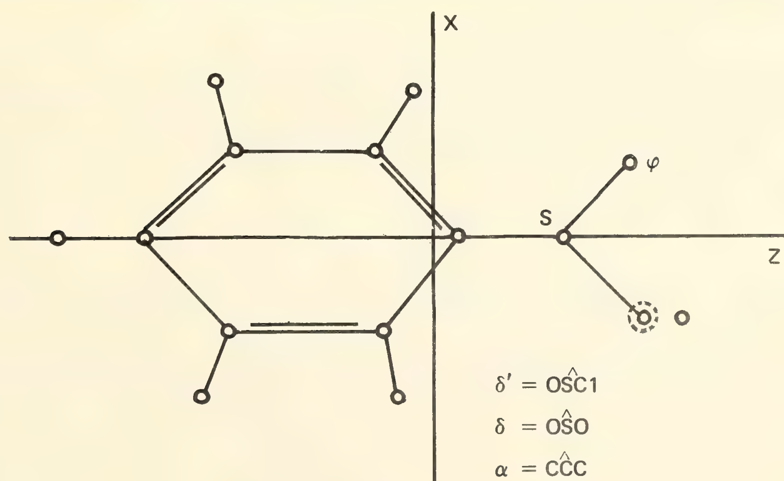


FIGURA 1

Para la determinación de los parámetros moleculares (ángulos de unión y distancias interatómicas) se utilizaron valores característicos de los elementos involucrados. Estos valores fueron extraídos de las referencias (1) y (2).

Posteriormente, a partir de un modelo estructural de prueba se calcularon las constantes rotacionales A, B y C y el factor de asimetría $\mathcal{K}$ para determinar un espectro teórico, que fue confrontado con los resultados experimentales obtenidos con el fin de ajustar por prueba y error las transiciones rotacionales medidas, en la forma acostumbrada en la espectroscopía de microondas.

La variación de los ángulos δ y δ'. (ver figura 1) tiene escasa influencia sobre los valores obtenidos para las constantes rotacionales, es decir, no son significativos para el ajuste de dichas constantes. Los cálculos revelan claramente que la molécula es un rotador casi simétrico alargado (prolado). Además, se utilizaron isótopos del elemento Cl : Cl^{35} y Cl^{37} para facilitar las determinaciones de los parámetros estructurales buscados. Los espectros correspondientes a ambas formas isotópicas son de intensidades apreciablemente diferentes. La mayor intensidad corresponde obviamente a la variedad más abundante: Cl^{35}.

La determinación de las constantes rotacionales y de distorsión centrífuga se realizaron con un procedimiento análogo a otras moléculas ya reportadas en trabajos anteriores de nuestro laboratorio, por ejemplo: (3). Por tal motivo la exposición siguiente se limitará a la presentación de los resultados obtenidos.

ESPECTRO ROTACIONAL, CONSTANTES ROTACIONALES Y DE DISTORSION CENTRIFUGA

El análisis del espectro rotacional de la molécula correspondinte al cloruro del ácido bencenosulfónico presenta varias particularidades que dehen ser consideradas:

1) El elemento Cl posee spin nuclear 3/2; luego, las líneas rotacionales se deben desdoblar por interacción cuadrupolar. Un cálculo aproximado para este desdoblamiento utilizando la constante de interacción cuadrupolar correspondiente a la molécula $C_6H_5Cl^{35}$ fue realizado mediante la teoría expuesta por Gordy (4). Los resultados obtenidos permiten concluir que el desdoblamiento espectral solamente tiene alguna importancia para valores de $J < 7$, y aun para este caso no exceden a los errores de medición (aproximadamente 1 MHz). Esta circunstancia permite la determinación de los parámetros A, B y C con valores apropiados de J.

2) Debido a la escasa asimetría del rotador correspondiente a esta molécula, las líneas de la banda $Q(\Delta J = 0)$ son muy débiles, solamente aparecen líneas apreciables en esta banda para valores de $J > 40$.

3) Por ser la molécula considera un rotador casi simétrico las componentes del momento dipolar eléctrico cumplen:

$$\mu_a \gg \mu_b \simeq \mu_c$$

siendo a el eje x de la figura 1. Las direcciones b y c están contenidas en un plano perpendicular a este eje.

Para las líneas determinadas por la componente dipolar μ_a, se tienen las siguientes reglas de selección:

$$\Delta K_- = 0, \pm 2, \pm 4$$

$$\Delta K_+ = \pm 1, \pm 3$$

luego, se puede deducir que solamente son apreciables líneas correspondientes a los saltos cuánticos:

$$\Delta J = \pm 1 \ , \ \Delta K_{-} = 0$$

Finalmente, los resultados obtenidos para los parámetros moleculares buscados, están dados en las tablas 1, 2 y 3.

TABLA 1

ANGULOS Y DISTANCIAS EN A°

C–H	1,08
C–C	1,39
C–S	1,80
S–O	1,41
S–Cl	1,94
α	118,45
δ	105,99
δ'	130,00

TABLA II

CONSTANTES ROTACIONALES
Y COEFICIENTE DE ASIMETRIA

A	1.863,675 MHz ± 20,600
B	727,284 MHz ± 0,514
C	626,723 MHz ± 0,529
KAPPA	– 0,837

TABLA III

CONSTANTE DE DISTORSION
CENTRIFUGA DE WATSON EN MHz

d_j	0,1259 ± 0,0164
d_{jk}	12,7523 ± 1,5287
d_k	9,1403 ± 1,3332
d_{wj}	– 0,0002 ± 0,0000
d_{wk}	– 0,0184 ± 0,0022

Las constantes rotacionales y de distorsión centrífuga obtenidas son puestas a prueba en el siguiente conjunto de líneas medidas con nuestro espectrógrafo.

		Medida	*Calculada con dist. centrif.*	*Fuerza de línea*
$7_{3,4}$	$8_{3,5}$	1.095,000	10.944,819	6,8
$9_{6,4}$	$10_{6,5}$	13.582,000	13.582,871	6,4
$9_{6,3}$	$10_{6,4}$			
$9_{4,6}$	$10_{4,7}$	13.622,000	13.620,931	8,4
$11_{2,10}$	$12_{2,11}$	15.937,000	15.936,680	11,6
$11_{10,2}$	$12_{10,3}$	16.280,000	16.279,880	3,6
$13_{11,3}$	$14_{11,4}$	18.998,000	18.996,187	5,3
$13_{3,11}$	$14_{3,11}$	18.968,000	18.968,907	13,3

$15_{14,1}$	$16_{14,2}$	21.704,000	21.703,239	3,7
$15_{14,2}$	$16_{14,3}$			
$15_{12,3}$	$16_{12,4}$	21.712,000	21.713,130	7,0
$15_{12,4}$	$16_{12,5}$			
$15_{11,4}$	$16_{11,5}$	21.720,000	21.720,113	8,4
$15_{11,5}$	$16_{11,6}$			
$17_{2,15}$	$18_{2,16}$	24.534,000	24.533,915	17,5
$17_{3,15}$	$18_{3,16}$	24.140,000	24.139,884	17,3
$20_{15,5}$	$21_{15,6}$	28.506,000	28.504,170	10,2
$20_{15,6}$	$21_{15,7}$			
$20_{4,17}$	$21_{4,18}$	28.566,000	28.565,940	20,1
$20_{13,7}$	$21_{13,8}$	28.524,000	28.523,348	12,9
$20_{13,8}$	$21_{13,9}$			
$22_{20,2}$	$23_{20,3}$	31.196,000	31.197,035	5,6
$22_{20,3}$	$23_{20,4}$			
$22_{19,3}$	$23_{19,4}$	31.201,000	31.202,145	7,3
$22_{19,4}$	$23_{19,5}$			
$22_{21,1}$	$23_{21,2}$	31.191,000	31.192,545	3,8
$22_{21,2}$	$23_{21,3}$			
$23_{23,0}$	$24_{23,1}$	32.544,000	32.543,838	1,8
$23_{23,1}$	$24_{23,2}$			
$22_{18,4}$	$23_{18,4}$	31.206,000	31.208,022	8,9
$22_{18,5}$	$23_{18,6}$			
$22_{17,5}$	$23_{17,6}$	31.216,000	31.214,858	10,4
$22_{17,6}$	$23_{17,7}$			
$24_{24,0}$	$25_{24,0}$	33.901,000	33.899,034	1,9
$24_{24,1}$	$25_{24,2}$			

MHz
Error de medición 2,0 MHz
Desviación standard 1,308

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las tabla 1, 2 y 3 son satisfactorios ya que existe un razonable acuerdo con los datos experimentales *reportados* en tabla 4. Sin embargo, las cotas de error de la tabla 3 pueden ser disminuidas mejorando el valor de las determinaciones experimentales con errores menores que 0.5 MHz. En este caso se deben introducir las perturbaciones originadas por el efecto cuadrupolar del núcleo Cl. Además deben incluirse en el ajuste líneas de la Banda Q (solamente P y R se consideran en tabla 4). Las líneas Q son muy difíciles de medir (ver 2) de la sección precedente).

AGRADECIMIENTOS

Los autores tienen el placer de expresar su agradecimiento al Consejo Nacional de Investigaciones de la Argentina y a la Organización de Estados Americanos por la ayuda recibida en la realización de este trabajo.

O.M.S. agradece a Comisión Investigaciones científicas, Pcia de Bs As, por el apoyo personal recibido.

REFERENCIAS

[1] B. BAK, J. CHEM: Phys. 37, 2027, (1962).

[2] H. J. M. BOWEN: "Tables of interatomic distances and configuration in molecules and ions", The Chemical Society Burlington House, W1 (1958).

[3] L. M. BOGGIA, R. R. FILGUEIRA y O. M. SORARRAIN, Anales de la Soc. Científica Argentina, CC, I-VI, 31 (1975).

[4] R. L. COOK y W. GORDY: "Microwave Molecular Spectra", John Wiley Interscience Publishers, New York (1970).

SERIE I. CIENCIAS N° 41 ISSN 0037-8437

SOBRE UN MEJORAMIENTO DE LA APROXIMACION W.B.K.J.

M. Vandewiele
Université Libre de Bruxelles
Université de Dakar

RESUMEN

Proponemos un método de resolución de la ecuación

$$\frac{d^2 x}{d t^2} + G^2(t) = 0$$

en la cual $G(t)$ es una función periódica y dos veces diferenciable. Demostramos que este método es un mejoramiento del método W.B.K.J.

RÉSUMÉ

Nous proposons une méthode de résolution de l'équation

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + G^2(t)\, x = 0\,,$$

où $G(t)$ est une fonction périodique, deux fois dérivable. Nous demontrons que cette méthode est une amélioration de la méthode W.B.K.J.

I. INTRODUCCION

Existen numerosos problemas de física en los cuales los coeficientes variables cambian relativamente poco alrededor de un valor medio importante.

Se utiliza a menudo para resolver estos problemas el método de Wentzel, Kramers, BRILLOUIN (1948) y Jeffreys.

Se trata en tal caso de la ecuación del segundo orden

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + G^2(t)\, x = 0 \qquad [1]$$

Proponemos aquí un método de perturbación que mejora la aproximación W.B.K.J.

II. REDUCCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL (I) A UNA ECUACIÓN INTEGRAL

La ecuación diferencial [1] puede ponerse en forma matricial

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -G^2 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \qquad [2]$$

con $y = dx/dt$.

Suponemos que $G^2(t)$ es una función periódica y dos veces diferenciables en t:

$$G^2(t) = \bar{F} + \tilde{F} \qquad [4]$$

en la cual $\bar{F}$ es el valor medio de $G^2(t)$, y con

$$|\bar{F}| \gg |\tilde{F}|, \qquad [4]$$

$$|dG(t)/dt| \ll |\bar{F}| \qquad [5]$$

Ponemos según CUNNINGHAM (1963)

$$\phi = \int_0^t G(u)\,du, \qquad G(t) = -1/K(t), \qquad [6]$$

entonces la ecuación [2] se escribe

$$\frac{dS}{d\phi} = BS \qquad [7]$$

en la cual

$$S = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \qquad B = \begin{bmatrix} 0 & -K(t) \\ 1/K(t) & 0 \end{bmatrix} \qquad [8]$$

A fin de simplificar la ecuación [7], introducimos la transformación siguiente:

$$S = Mz, \qquad [9]$$

en la cual

$$M = \begin{bmatrix} \sqrt{-K(t)} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{-K(t)} \end{bmatrix}, \qquad z = \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{bmatrix}. \qquad [10]$$

La ecuación [7] se escribe después transformación:

$$\frac{dz}{d\phi} = C_0 z + C(\phi)\, z, \qquad [11]$$

con

$$C_0 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad C(\phi) = \begin{bmatrix} -K'(t)/2K(t) & 0 \\ 0 & K'(t)/2K(t) \end{bmatrix}, \qquad [12]$$

en la cual hemos tomado los derivados con relación a ϕ.

Notamos que teniendo en cuenta [6], la expresión $|K'(t)/2K(t)|$ se escribe (veáse la desigualdad [5]):

$$\left|\frac{dK(t)}{2K(t)\,d\phi}\right| = \left|\frac{dG(t)}{2G^2(t)\,K(t)\,G(t)\,dt}\right| = \left|\frac{dG(t)/dt}{2G(t)^2}\right| \ll 1$$

De ella se desprende que la ecuación [11] se reduce en primera aproximación a

$$\frac{dz}{d\phi} \cong C_0 z$$

Pues conseguimos

$$z(\phi) \cong z_0(\phi) = \exp.(C_0\, \phi)\, z(0),$$

en la cual $z(0)$ es el vector inicial por $\phi = 0$.

Es claro que

$$\exp.(C_0\, \phi) = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\operatorname{sen}\phi \\ \operatorname{sen}\phi & \cos\phi \end{bmatrix}$$

Se calcula $z(0)$ a partir de la ecuación [9]:

$$z(0) = M(0)^{-1}\, S(0) = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{-K(0)} & 0 \\ 0 & \sqrt{-K(0)} \end{bmatrix} S(0)$$

Entonces, la ecuación [7] tiene como solución en primera aproximación

$$S_0(\phi) = M(\phi)\, z_0 = M(\phi) \exp.(C_0\, \phi)\, M^{-1}(0)\, S(0)\,.$$

Después del cálculo, tenemos:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} (\sqrt{K(t)/K(0)})\cos\phi & -(\sqrt{K(t)\,K(0)})\operatorname{sen}\phi \\ (1/\sqrt{K(t)\,K(0)})\operatorname{sen}\phi & (\,(\sqrt{K(0)/K(t)})\cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ (0) \end{bmatrix},$$

correspondiendo a la aproximación W.B.K.J..

Para conseguir una mejor aproximación, consideramos la ecuación integral siguiente

$$z(\phi) = \exp.(C_0\, \phi)\, [z(0) + \int_0^{\phi} \exp.(-C_0\, u)\, C(u)\, z(u)\, du]\,, \qquad [13]$$

que es equivalente con la ecuación diferencial [11].

III. RESOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN INTEGRAL [13]

La ecuación [13] es una ecuación integral de Volterra de la segunda clase

$$f(\phi) = z(\phi) - \lambda \int_0^{\phi} K(\phi, u)\, z(u)\, du\,,$$

en la cual

$$f(\phi) = \exp.(C_0\, \phi)\, z(0), \qquad \lambda = 1\,,$$

$$K(\phi, u) = \exp.(C_0\, \phi)\, \exp.(-C_0\, u)\, C(u)\,.$$

Según YOSIDA (1971) la ecuación [13] tiene como solución única

$$z(\phi) = \sum_{n=0}^{\infty} z_n(\phi)\,, \qquad [14]$$

con

$$z_n(\phi) = \exp.(C_0\, \phi) \int_0^{\phi} \exp.(-C_0\, u)\, C(u)\, z_{n-1}(u)\, du\,. \qquad n = 1, 2, 3, \ldots \qquad [15]$$

Demostraremos ahora que se trata verdaderamente de un mejoramiento del método W.B.K.J.

Consideramos la diferencia entre la solución exacta $z(\phi)$ y la aproximación $z_{n+1}(\phi)$.

$$e_{n+1}(\phi) = z(\phi) - z_{n-1}(\phi) \, ,$$

$$e_{n+1}(\phi) = \exp.(C_0 \phi) \int_0^\phi \exp.(-C_0 u) \, C(u) \, [z(u) - z_n(u)] \, du \, . \qquad [16]$$

Suponemos que

$$\sup_{\phi, u} | \exp [C_0 (\phi - u)] \, C(u) | = N,$$

$$\sup_{u} | z(u) - z_n(u) | = \| e_n \| \, .$$

De la ecuación [16] se desprende la desigualdad siguiente

$$| e_{n+1}(\phi) | \leqslant N \phi \, \| e_n \| \, . \qquad [17]$$

Entonces, tenemos

$$| e_{n+2}(\phi) | \leqslant \left| \int_0^\phi N [z(u) - z_{n+1}(u)] \, du \right| \leqslant N \int_0^\phi | e_{n+1}(u) | \, du$$

Y teniendo en cuenta la [17]

$$| e_{n+2}(\phi) | \leqslant N \int_0^\phi N u \, \| e_n \| \, du \leqslant N^2 \frac{\phi^2}{2} \| e_n \| \, .$$

Generalmente, tenemos

$$\| e_{n+p} \| \leqslant N^p \frac{\phi^p}{p!} \| e_n \| \qquad [18]$$

Tomemos p tal como

$$k = (N \phi)^p / p! < 1 \qquad [19]$$

Entonces por $n = 0$ y $n = p$ obtenemos

$$\| e_p \| \leqslant k \, \| e_0 \|$$

demostrando nuestra proposición.

BIBLIOGRAFIA

BRILLOUIN, L.: (1948) "A Practical Method for Solving Hill's Equation" Quart. Appl. Math., *6*, 167-178.

CUNNINGHAM, W. J. (1963): "Analyse non linéaire". Paris Dunod, 259-265.

YOSIDA, K.: (1971) "Equations différentielles et intégrales" Paris Dunod. Chap. 4.I.

SERIE II. CIENCIAS APLICADAS, N° 45 ISSN 0037-8437

ABACO UNIVERSAL para determinar BASES ESTEREOFOTOGRAMETRICAS TERRESTRES (Caso Normal)

Por ANTONIO M. SARALEGUI[1]

RESUMEN

El presente trabajo se refiere a la forma de establecer la longitud de una base Estereofotogramétrica Terrestre (caso normal) partiendo de los valores $Y_{máx}$ (alejamiento máximo del terreno a levantar desde la base B) y m_Y (error medio planimétrico que se acepta en el levantamiento); teniendo presente además la influencia de la visión estereoscópica del operador de restitución; los valores entre los que puede variar $\nu = \frac{Y}{B}$; el coeficiente ρ de precisión instrumental; el error relativo $m\epsilon_Y = \frac{m_Y}{Y}$; la superficie útil S_u de la base B en función de ν; y lo que puede esperarse en cuanto a precisión planimétrica en los puntos a restituir o en los ya restituidos.

Se presenta por primera vez con tal objeto un ABACO UNIVERSAL que permite resolver el problema de inmediato atendiendo a la influencia que en el mismo tienen las variables precitadas. Se ofrecen también dos breves Apéndices: uno con comentarios sobre la variación de la función $S_u = f(\nu)$; y otro indicando cómo extender el uso del ABACO UNIVERSAL a la Fotogrametría Aérea (Caso Normal) de fotogramas horizontales con base B horizontal.

SUMMARY

This paper deals with the way of establishing the length of a Terrestrial Stereophotogrammetric base (normal case) from the values $Y_{máx}$ (maximum receding of the plot to be surveyed from base B) and m_Y (mean planimetric error accepted in the survey), bearing in mind, also, the influence of the stereoscopic vision of the restitution operator; the values between which $\nu = \frac{Y}{B}$ may vary; the coefficient ρ of instrumental precision; the relative error $m\epsilon_Y = \frac{m_Y}{Y}$; the effective surface S_u of base B in terms of ν; and what can be expected as to planimetric accuracy in the points to be restituted or in those already restituted. For this object, a UNIVERSAL ABACUS is introduced for the first time. This ABACUS permits the immediate solving of the problem, in view of the influence the aforementioned variables have on it. Two short APPENDIXES are also presented: one of them with commentaries about the variation of the function $S_u = f(\nu)$ and the other showing how to extend the use of the UNIVERSAL ABACUS to the Aerial Photogrammetry (normal case) of horizontal photograms with horizontal base B.

RÉSUMÉ

Le présent travail se rapporte à la façon d'établir la longitude d'une base Stéréophotogrammetrique Terrestre (cas normal) en partant des valeurs Y_{max} (éloignement maximum du terrain á relever depuis la base B) et m_Y (erreur moyenne planimétrique accepté pour le relèvement en tenant compte en outre de l'influence de la vision stéréoscopique de l'operateur de restitution; des valeurs entre lesquelles peut varier $\nu = \frac{Y}{B}$; du coefficient ρ de précision instrumentale; de l'erreur moyenne relative $m\epsilon_Y = \frac{m_Y}{Y}$; de la superficie utile S_u de la base B en fonction de ν; et de ce que l'on peut attendre comme précision planimétrique pour les points à restituer ou pour ceux qui ont été déjà restitués.

Nous prèsentons pour la première fois dans ce but un ABAQUE UNIVERSEL qui permet de résoudre immédiatement le problème en tenant compte de l'influence qu'exercent les variables précitées. Nous offrons

1 Universidad de Buenos Aires. - Facultad de Ingeniería.

également deux courts Appendices: l'un avec des commentaires sur la variation de la fonction $S_u = f(\nu)$; et l'autre qui indique la maniére d'étendre l'usage de L'ABAQUE UNIVERSEL à la Photogrammétrie Aérienne (cas normal) de photogrammes horizontaux à base B horizontale.

ADVERTENCIA

Antes de entrar en materia corresponde decir unas palabras sobre el *por qué* del presente trabajo referente a un conocido tema fotogramétrico al que generalmente –no obstante su manifiesta importancia– se ha prestado muy moderada atención.

Esta situación se ha originado en el hecho de que tener presentes *todos* los parámetros que inciden en la correcta elección de una base en levantamientos estereofotogramétricos terrestres es, en realidad, complejo implicando tal proceder invertir mucho más tiempo del que se consideraba razonable para establecer en campaña la longitud de las bases, prefiriéndose por ello hacerlo con una simple e inmediata relación numérica de dicha longitud con la constante focal de la cámara fotogramétrica utilizada, sacrificando rigor, pero saliendo del paso rápidamente sin producir perjuicios excesivos.

Mas el avance cualitativo de la Estereofotogrametría Terrestre, y en particular sus más recientes aplicaciones a importantes y delicadas finalidades no topográficas de lo más variadas, han llevado a la necesidad perentoria de hallar una solución integral a este problema que sea apta para satisfacer en forma acabada y con máxima celeridad los nuevos planteos, sin que por eso dicha solución deje de tener también utilidad efectiva para los antiguos. Tal es lo que creemos haber logrado con el ABACO que se ofrece en el presente estudio, evitando asímismo con él que por senderos inadecuados que comenzaron a insinuarse se llegara a soluciones inapropiadas que produjeran resultados inaceptables.

Con esta advertencia quiera tener a bien el avisado lector tomar conocimiento de lo que sigue, aportando a ello con su espíritu crítico las mejoras que juzgue convenientes.

I – FUNDAMENTOS GENERALES

En posesión de los valores que caracterizan técnicamente al instrumental que se utilizará en campaña y en gabinete, los elementos determinantes de la longitud B de bases normales integrantes de un levantamiento estereofotogramétrico terrestre son:

a) la distancia $Y_{máx}$, que separa al terreno más lejano a levantar del lugar elegido para establecer la base B; y

b) el error máximo ΔY, que en el sistema local O_1 (X, Y) de cada base, se aceptará para la coordenada Y_P de los puntos P que se obtengan del levantamiento que con ella se realice.

Por tanto, el conocimiento de estos dos datos es *absolutamente indispensable,* y atendiendo a ellos se efectúa el dimensionamiento de B como a continuación se expone.

A tal efecto, es conveniente recordar dos modalidades bien definidas, inherentes al fundamento métrico de la Estereofotogrametría Terrestre, en los que reside la excelencia de sus resultados, a saber:

1 - la Estereofotogrametría Terrestre determina geométricamente la posición planimétrica de los puntos P que suministra cada base B, por el procedimiento de la "intersección hacia adelante", materializada en cada caso por las direcciones conjugadas O_1P - O_2P; y –auspiciosa coincidencia– nada mejor han conocido (hasta la utilización de instrumental electróptico) la Geodesia y la Topografía para situar puntos planimétricamente;

2 - la Estereofotogrametría Terrestre proporciona la medida de Y_P (proyección horizontal de la distancia Y_P entre la base B y el plano vertical paralelo a ésta que contiene al punto así determinado) "paralácticamente"; es decir, utilizando el valor del ángulo horizontal γ de intersección, según el cual, desde P se ve al segmento O_1O_2 que constituye la base B del levantamiento. Tal modo de proceder es, justamente, también el mejor que conocen la Geodesia y la Topografía para establecer en forma inmediata, con muy buena precisión, la medida de la proyección horizontal de segmentos rectilíneos ubicados sobre el terreno.

Es útil, además, agregar a estos enunciados algunas consideraciones sobre la muy conocida y sencilla expresión que proporciona la coordenada Y_P de cualquier punto de una base normal:

$$Y_P = \frac{B}{\pi} f \quad (1) \text{ que nos da: } \frac{Y}{B} = \frac{f}{\pi} \quad (2)$$

Y esta última, como es sabido, resuelve el problema que nos ocupa, pues si llamamos:

$$\nu = \frac{Y}{B} \quad (3) \quad \text{es} \quad \nu = \frac{f}{\pi} \quad (4)$$

y entonces para conocer la longitud $B = \frac{Y}{\nu}$ (5) será suficiente establecer entre qué límites variará el valor π —y consecuentemente ν— para elegir así el más conveniente en cada caso.

El límite inferior de ν resulta del máximo de π, que es consecuencia de lo siguiente (fig. 1-a): el ángulo γ máximo aceptable para la intersección de dos direcciones O_1P y O_2P que producen en los fotogramas imágenes conjugadas p_1 y p_2, que han de utilizarse para efectuar visión estereoscópica en P, no deberá ser mayor del que forman los ejes de fijación de los ojos de un observador cuando el mismo efectúa visión binocular directa sobre un objeto real colocado al efecto para su observación a la distancia δ mínima de visión distinta (fig. 1-b). En estas condiciones las diferencias dimensio-

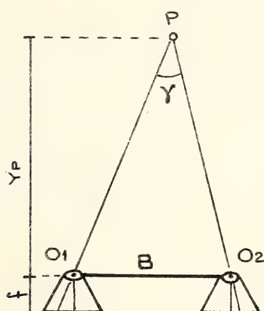


FIG. 1a

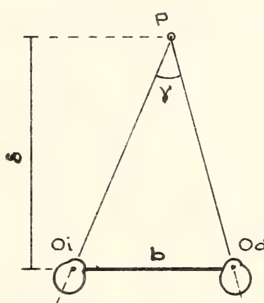


FIG. 1b

nales relativas que presenten las imágenes conjugadas en los fotogramas no serán superiores de las que ofrecen las que se producen en las retinas de los ojos del observador cuando mira binocularmente el objeto colocado a la expresada distancia δ. Esta es como se sabe, la más corta que permite visión mono o binocular de un cuerpo real, sin esfuerzos anormales y, por tanto, sin mayor fatiga. Según esto, teniendo presente que δ está comprendida entre 250 mm y 300 mm y, a su vez, la distancia interocular b oscila (según el observador) entre 62 mm y 70 mm, resulta que puede aceptarse razonablemente:

$$\gamma_{máx} = \frac{b}{\delta} \simeq \frac{1}{4} \text{rd} \qquad ; \text{Luego } \gamma_{máx} \simeq 15° \qquad (6)$$

o sea: un punto P de un objeto real colocado lo más cerca posible de los ojos de un observador para que éste efectúe su visión binocular con máximo provecho, sin esfuerzo y sin fatiga, produce en sus ejes oculares de fijación un ángulo de intersección de $15° \simeq \frac{1}{4}$ rd. Se comprueba además, que en

tal condición la disimilitud de las imágenes retinianas del objeto en cada uno de los ojos de quien observa, son ya de tal importancia que comienzan a dificultar la fusión de las mismas en el proceso cerebral que le lleva a la sensación tridimensional de la imágen única de tal carácter producida por la visión binocular.

Establecido así que $\gamma_{máx} \simeq 15° = \frac{1}{4}$ rd éste ha de ser el ángulo que no deberá sobrepasarse en la intersección de las direcciones conjugadas O_1P y O_2P que darán las imágenes p_1 y p_2 de P en los fotogramas que se obtengan en los extremos O_1 y O_2 de una base normal B estereofotogramétrica terrestre, y es inmediato para la (4) que $\pi_{máx} = \frac{f}{4}$ ya que con tal valor resultará:

$$\gamma = \frac{f/4}{f} = \frac{1}{4} \text{rd} \simeq 15°,$$

como se ha dicho.

Será pues,

$$\left.\begin{aligned} \pi_{máx} &= \frac{f}{4} \\ \nu &= 4 \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

con lo que el límite inferior de ν es:

Pero para conocer el valor máximo de ν, debemos recurrir a algo propio de la precisión que en sus resultados proporciona la medición "paraláctica" cuando se la utiliza para obtener el valor de Y_P.

Reflexiónese a tal fin sobre el hecho de que la visión binocular humana informa al observador sobre posición y distancia de los objetos que mira a su alrededor, con los mismos excelentes recursos métricos que ya se han citado más arriba como fundamentos valiosos de la Estereofotogrametría Terrestre, y son: ubicación planimétrica de objetos por "intersección hacia adelante"; determinación de distancias entre la base binocular b y el lugar observado, "parallácticamente". Lo primero porque los ejes de fijación de los ojos se cortan "hacia adelante"; lo segundo porque el ángulo γ de la intersección de tales ejes es utilizado por el cerebro para estimar el alejamiento del punto mirado binocularmente.

Es pues del caso conocer la sensibilidad de nuestra observación binocular en la apreciación de las distancias, y usar de esta sensibilidad para que la Estereofotogrametría Terrestre en el caso más desfavorable –es decir, cuando el valor de ν sea máximo– proporcione calidad métrica que no desmerezca en sus resultados de la que nuestros ojos son capaces de suministrar al hacer visión binocular.

Con este planteo, veamos qué alcanzan a dar nuestros ojos en las mejores condiciones de tal visión las cuales, como se ha dicho precedentemente, se presentan cuando el objeto observado se encuentra de ellos a distancia δ, mínima de visión distinta.

Si aceptamos para δ el valor de 300 mm, se comprueba experimentalmente que el valor medio $m_{\Delta\delta}$ de los incrementos mínimos que pueden apreciarse binocularmente es 0,1 mm (una décima de milímetro) que corresponde a un error relativo ϵ_δ para δ:

$$m\epsilon_\delta = \frac{m_{\Delta\delta}}{\delta} = \frac{1}{3000} \quad (8)$$

que es el mínimo que puede obtenerse para la apreciación de distancias en la visión binocular humana. (Nótese que para el valor máximo $\Delta\delta = 0{,}3$ mm la (8) daría $\epsilon_\delta = 1/1000$).

Pues exijamos, según se ha dicho, que no sea mayor que él, el ϵ_Y de cualquier Y_p proporcio-

nada por una base Estereofotogramétrica Terrestre cuya relación $\nu = \frac{Y_p}{B}$ sea máxima.

Este valor de ν se halla fácilmente de inmediato, según se verá en lo que sigue, considerando que de la igualdad (1) se deduce la de variación ΔY de la Y_p en función de π, que es:

$$\Delta Y = -\frac{Y_p^2}{B\,f}\Delta\pi \qquad (9)$$

y de aquí surge la bien conocida:

$$\epsilon_Y = \frac{1}{\lambda_Y} = \frac{\Delta Y}{Y} = -\frac{\Delta\pi}{\pi} \qquad (10)$$

resolviéndose el problema con ésta y la (4) $\nu = \frac{f}{\pi}$ una vez que se sepa cual es el valor mínimo de π, teniendo presente el error relativo mínimo $m\epsilon_\delta = \frac{1}{3000}$ dado por la (8) para la visión binocular.

Así, de (10): $\pi = \Delta\pi\lambda_Y$ (11) y poniendo $\lambda_Y = 3000$, por ser éste el módulo de precisión, según (8), que nos hemos impuesto para ϵ_Y, tendremos:

$$\pi_{\text{mín}} = 3000\,\Delta\pi \qquad (12)$$

cuyo valor numérico resultará del mínimo que pueda asignarse a $\Delta\pi$. Y hoy día éste, con el mejor instrumental de Estereofotogrametría Terrestre, es $m_\pi = 3\,\mu m$; ó ($\Delta\pi_{\text{máx}} = 10\,\mu m$); en consecuencia: $\pi_{\text{mín}} = 3\,\mu m \times 3000 = 9$ mm (13) o bien ($10\,\mu\,m \times 1000 = 10$ mm (13')); con lo cual:

$$\nu_{\text{máx}} = \frac{f}{\pi_{\text{mín}}} = \frac{f}{9\text{mm}} \qquad (14) \qquad ó \qquad \left(\frac{f}{10\text{ mm}} \qquad (14')\right)$$

y expresando f en centímetros:

$$\nu_{\text{máx}} = 1{,}1\,f\,(\text{cm}) \qquad (15) \qquad ó \qquad (\nu_{\text{máx}} = f\,(\text{cm})) \qquad (15')$$

con lo que, en definitiva:

$$4 < \nu < 1{,}1\,f\,(\text{cm}) \qquad (16)$$

o simplemente

$$4 < \nu < f\,(\text{cm}) \qquad (16')$$

Luego para cámaras de 8, 15 ó 20 cm de focal f, será respectivamente, con suficiente aproximación:

$$4 < \nu < 8\text{-}9$$
$$4 < \nu < 15\text{-}17 \qquad (17)$$
$$4 < \nu < 20\text{-}22$$

A título de ejemplo, con los siguientes datos: $f = 16$ cm, $m_\pi = 3\,\mu m$, $Y_{\text{máx}} = 600$ m, $m_Y = 0{,}2$ m, ($m_\delta = 1/3000$), utilizando las (2), (3), (7) y (15), se obtiene:

$4 < \nu < 18$, $\qquad Y_{\text{máx}} = 18\,B$; $\qquad B \simeq 35$ m; $\qquad Y_{\text{mín}} \simeq 140$ m

Queda así detallado el criterio general con sus fundamentos para calcular la longitud B de una base Estereofotogramétrica Terrestre que permita restituir el terreno proporcionado por ella, hasta distancia máxima $Y_{máx}$ con error medio relativo

$$m_{\epsilon_Y} = \frac{1}{3000} \quad \left(o\ \epsilon_{Y_{máx}} = \frac{1}{1000} \right)$$

análogo al de menor valor que a la distancia δ (aceptada como mínima para la visión distinta sin esfuerzo y sin fatiga) comete binocularmente un observador normal en condiciones favorables.

2 – DETERMINACION DEL VALOR B

Los precedentes Fundamentos Generales han permitido establecer los límites entre los que puede variar el coeficiente ν, con prescindencia de consideraciones sobre otros temas que han de analizarse para poder llegar a adoptar en cada caso particular el valor más adecuado de B.

Surge en primer término la necesidad de:

a) conocer qué relación existe entre los límites de ν y la superficie útil S_u con que cada base B contribuirá a la ejecución del levantamiento;

en segundo lugar:

b) conociéndose $S_u = f(\nu)$, cual será, para determinado error medio m_Y (o error máximo ΔY, si así se desea), el valor más conveniente de ν;

y en tercer lugar:

c) cómo calcular ν con rapidez (y consiguientemente B) de modo que al hacerlo se hayan tenido presentes tanto las características de la cámara fotogramétrica utilizada como las del instrumental de restitución a emplear en gabinete.

Todo ello conduce a la solución integral del problema que nos ocupa, la cual se condensa en un Abaco Universal cuya elaboración se basa en los datos ($Y_{máx}$ y ΔY) calificados de *indispensables* en las primeras líneas del presente trabajo, para proporcionar de inmediato en cada caso el valor de los parámetros que deciden la dimensión e indican el rendimiento de la base requerida.

En el orden expresado comencemos pues por:

a) Los límites de ν en la superficie útil S_u de cada base B.

El valor S_u de la superficie útil de terreno que proporciona una base B, expresado en función de ν y B se deduce observando la fig. 2 donde se ve que de las dos imágenes conjugadas de los fotogramas ϕ_1 y ϕ_2 la zona común en ambas constituye precisamente la S_u buscada y es la delimitada por el trapecio $M_1M_2N_2N_1$, diferencia de las de los dos triángulos isósceles de vértice común T, a saber:

$$S_u = \text{Sup } M_1\hat{T}M_2 - \text{Sup } N_1\hat{T}N_2 = S_t - S_o$$

las cuales están dadas por:

$$\frac{1}{2}(\overline{M_1M_2} \times h_M) \quad y \quad \frac{1}{2}(\overline{N_1N_2} \times h_N)$$

De los valores acotados en la fig. 2a) se obtiene:

$$S_u = \frac{1}{2}\,[(\nu - 1)^2 - 9]\,B^2,$$

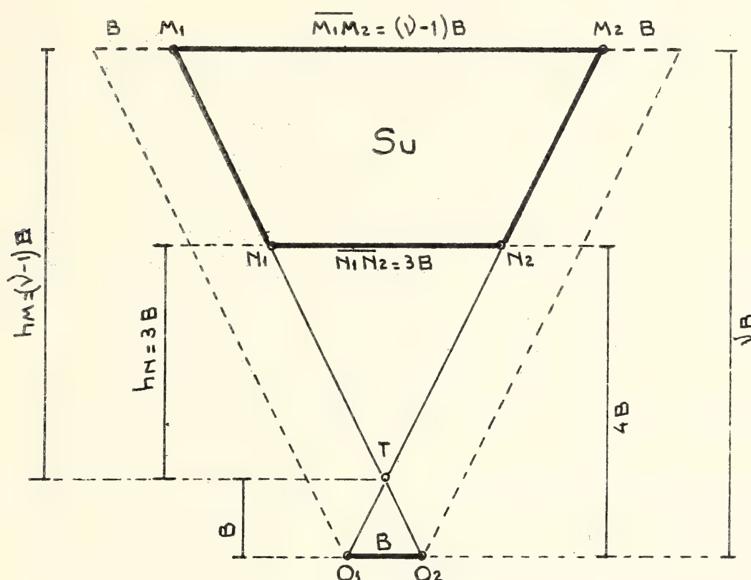
en la que haciendo

$$\frac{1}{2}\,[(\nu - 1)^2 - 9] = \chi$$

es

FIG. 2a.

$$S_u = \chi\, B^2 \qquad (18)$$



y con ésta, bien simple por cierto, el área S_u deseada, a la que puede agregarse la siguiente:

$$S_u = \eta\,\%\,S_t \qquad (18')$$

en la cual

$$\eta = \frac{S_u}{S_t} \times 100,$$

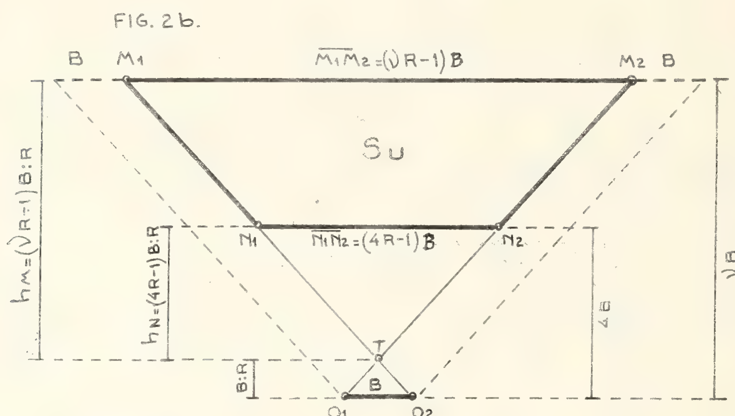
relación de la superficie útil S_u, comprendida dentro del triángulo $M_1 \hat{T} M_2$, a la superficie de éste triángulo, que abarca la totalidad del terreno impresionado en los dos fotogramas ϕ_1 y ϕ_2.

Corresponde, sin embargo, formular una aclaración complementaria: el valor adjudicado a χ implica que los fotogramas sean de un formato tal que el largo l_a de su lado mayor iguale a la constante focal f de la cámara fotogramétrica (como hasta el presente sucede con la gran mayoría de las que están en uso) y, abscisas y ordenadas relacionadas con B se beneficien de esta condición métrica la cual configura el llamado R (*coeficiente angular de campo* del objetivo fotográfico de la cámara fotogramétrica) que es: $R = l_a / f$ al que se le adjudican tres valores típicos (1; 1,5 y 2,5) que corresponden a otros tantos grupos de objetivos fotográficos conocidos como de campo *angular normal* (A N — $R \simeq 1$); campo *gran angular* (G A — $R \simeq 1{,}5$); y campo *super-gran angular* (S G A — $R \simeq 2{,}5$), respectivamente; no siendo difícil demostrar que la ecuación (18) toma la forma general

aproximada $S_u' \simeq \chi R B^2$ (19) si se introduce R al relacionar Y_T con B, ya que $l_a = f R$. Evidentemente la (18) corresponde al caso típico A N (de ángulo normal) para el que $R \simeq 1$, como más arriba se ha indicado.

A su vez, el valor exacto de S_u en función de ν, R y B es, como puede deducirse con la fig. 2b) el siguiente:

$$Su_g = \frac{1}{2} [(\nu^2 - 16) R - 2\nu + 8] B^2 \qquad (20)$$



y la diferencia entre ésta y la aproximada $Su_g' \simeq \chi R B^2$ es muy moderada, estando tal diferencia en torno al 10 % por defecto.

Con los valores (18), (19) y (20) se está en condiciones de estimar el número de bases que integrarán un levantamiento estereofotogramétrico terrestre.

b) Elección de ν en cada base B.

Para resolver esta cuestión debe apelarse a la (9); pero antes de hacerlo, teniendo en cuenta que ésta es tan solo parte de la expresión completa del valor ΔY del error de Y, pondremos en evidencia que considerar la variación de ΔY en función de $\Delta\pi$ solamente es en absoluto legítimo y suficiente a nuestro fin.

En efecto, la expresión completa del error ΔY de Y, deducida de la recordada (1) es:

$$\Delta Y = Y \frac{\Delta B}{B} + Y \frac{\Delta f}{f} + Y \frac{\Delta\pi}{\pi} = Y (\epsilon_B + \epsilon_f + \epsilon_\pi) \qquad (21)$$

en la cual, por ser ϵ_B y ϵ_f menores (aproximadamente) que la quinta parte de $\epsilon_{\pi_{máx}}$ puede prescindirse de su influencia y utilizar solamente:

$$\Delta Y = \frac{\Delta\pi}{\pi} Y = \frac{Y^2}{B f} \Delta\pi \qquad \text{como la (9).}$$

Pero además, si se pasa de incrementos finitos Δ a errores medios m:

$$m_Y = \pm \sqrt{Y^2 (m_{\epsilon_B}^2 + m_{\epsilon_f}^2 + m_{\epsilon_\pi}^2)} \quad (*)$$

y según lo dicho poco más arriba será:

$$m_Y = \pm \sqrt{Y^2 m_{\epsilon_\pi}^2 \left(1 + \frac{2}{25}\right)} = 1{,}05\ Y m_{\epsilon_\pi}$$

Por tanto, con aproximación más que suficiente para lo que se requiere:

$$m_Y = \pm Y \frac{m_\pi}{\pi} = \pm \frac{Y^2}{B f} m_\pi$$

que es la (9), pudiéndo entonces hacerse como sigue el dimensionamiento de B dado en el ejemplo al final de Fundamentos Generales:

$$B = \frac{600^2\ m^2\ 3\ \mu m}{0{,}2\ m\ 160\ mm} \simeq 35\ m \quad y \quad \nu = 18$$

Pero obsérvese que si en lugar de $m_Y = 0{,}2$ m se hubiera fijado la exigencia de $m_Y = 0{,}4$ m, resultaría

$$B \simeq 17\ m \quad y \quad \nu \simeq 36$$

cubriendo ambas bases, sin embargo, una superficie útil $S_u = \chi B^2 \simeq 17$ ha prácticamente igual para cada una de ellas.

Como puede apreciarse, la diferencia en los valores de B es consecuencia del diferente error relativo requerido en uno y otro caso para ϵ_Y; pero esta diferencia puede ofrecer otras característi-

-----

(*) Es oportuno destacar aquí que el error medio planimétrico m_P de un punto P proporcionado por una base estereofotogramétrica terrestré está dado por:

$$m_P = \pm \sqrt{m_X^2 + m_Y^2} \qquad (22)$$

la cual, por ser en la gran mayoría de los casos m_X menor que m_Y, nos permite aceptar $m_P \cong m_Y$ y, consecuentemente $\Delta p \cong \Delta Y$.

Esto se comprende teniendo en cuenta que en la Estereofotogrametría Terrestre (caso normal) la coordenada X_P de un punto P en el sistema local O_1 (X, Y) de la base que lo suministra es:

$$X = \frac{Y}{f} x_1$$

y se tiene para el error ΔX:

$$\Delta X = \frac{Y}{f} \Delta x_1 + \frac{x_1}{f} \Delta Y + \frac{x_1 Y}{f^2} \Delta f = \Delta Y \times \left[\frac{x_1}{f}\left(1 + \lambda_Y \frac{\Delta f}{f}\right) + \lambda_Y \frac{\Delta x_1}{f}\right]$$

y que con los valores corrientes de trabajo será:

$$\Delta X \cong \frac{\Delta Y}{3}$$

----

cas dignas de tenerse muy presentes ya que están vinculadas con el rendimiento de los instrumentos de restitución.

Así, por ejemplo, consideremos varios casos similares a los que preceden y se diferencien también en cuanto al error relativo de Y, pero de modo que éste en uno de ellos sea necesariamente menor del que puede alcanzar nuestro instrumento de restitución en su más adversa condición de trabajo la cual, según lo que se ha visto en Fundamentos Generales es:

$$m_{\epsilon Y} = m_{\epsilon \delta} = \frac{1}{3000} \geqslant m^{\epsilon}_{Y_R} \qquad \text{–ver (8)–}$$

siendo $m^{\epsilon}_{Y_R}$ el menor valor de $m_{\epsilon Y}$ que proporciona nuestro instrumental de restitución en las condiciones desfavorables (π = 9 mm con m_π = 3 μm).

c) Cálculo rápido de ν y de B.

Pongamos para ello en consideración los cinco casos que ya resueltos aparecen resumidos en el cuadro siguiente:

	1	2	3	4	5
$Y_{máx}$	900 m	1200 m	1500 m	1500 m	1160 m
m_Y	0,3 m	0,3 m	0,3 m	0,5 m	0,3 m
$m_{\epsilon Y}$	$\frac{1}{3000}$	$\frac{1}{4000}$	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{3000}$	$\frac{1}{3870}$
f	160 mm	160 mm	160 mm	160 mm	160 mm
$m_{\epsilon Y_R}$	$\frac{1}{3000}$	$\frac{1}{4000}$	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{3000}$	$\frac{1}{3870}$
$\pi_{mín}$	9 mm	12 mm	15 mm	9 mm	12 mm
m_π	3 μm	3 μm	3 μm	3 μm	3 μm
B	50 m	90 m	140 m	84 m	84 m
ν	18	13	11	18	14
$Y_{mín}$	209 m	360 m	560 m	336 m	336 m
S_u ~	35 ha	55 ha	89 ha	98 ha	56 ha

Se ve de inmediato que el 2, el 3 y el 5 tienen, en cuanto a $m_{\epsilon Y}$ exigencia mayor que la del máximo $m^{\epsilon}_{Y_R}$; pero que debido al valor respectivo de $\pi_{mín}$ en cada uno de ellos el instrumento de restitución con sus 3 μm de m_π los resolverá sin inconveniente.

También debe destacarse lo siguiente: el caso 4 constituye una base que comprende en su S_u al caso 5 pues como se consigna, el 4 corresponde a una base de 84 m para proporcionar m_Y = 0,5 m a distancia máxima $Y_{máx}$ = 1500 m ($\pi_{mín}$ = 9 mm; $m^{\epsilon}_{Y_R}$ = 1/3000); mientras que los mismos fotogramas a distancia Y = 1160 m –o menor– permitirían restituir con error m_Y = 0,3 m, siendo $\epsilon_Y \leqslant$ 1/3870. Esto es consecuencia de la especialísima característica inherente a

la medición "paraláctica" de distancias con la que, precisamente, se obtiene el valor de las Y; característica bien conocida consistente en que el error relativo de una distancia así medida varía en forma proporcional a la longitud de la misma.

En los referidos casos 4 y 5 el error relativo de las respectivas $Y_{máx}$ cumple dicha condición y comparando el 2 con el 5 se comprueba que la superficie útil S_u y el valor ν de este último son algo mayores que las de aquél, todo lo cual evidencia lo conveniente de reunir, en lo posible, dos planteos compatibles en una sola base pues el aprovechamiento de la misma será de rendimiento señaladamente favorable.

Pero la confrontación de dichos ejemplos unida a algunas consideraciones de orden práctico relacionadas con las tareas operativas de campaña conducen a la conveniencia de proceder al dimensionamiento de las bases B partiendo del error relativo $\epsilon_{Y_{máx}}$ en cada caso –ver (3), (4) y (5)– con la expresión:

$$\nu = \frac{f}{m_\pi \lambda_Y} \therefore B = \frac{Y_{máx}}{\nu} \qquad (23)$$

siempre que $m_\pi \cdot \lambda_Y$ no sea menor que el valor mínimo aceptado para la paralaje –(9 mm)– utilizándose así las desigualdades (16) ó (16').

III – DIMENSIONAMIENTO INTEGRAL DE B. ABACO UNIVERSAL DE VALORES B.

Y para llegar al dimensionamiento integral que se desea recurriremos nuevamente a la (9):

$$\Delta Y = \frac{Y^2}{Bf} \Delta\pi$$

cuya trascendental importancia se pone otra vez de manifiesto tras la simple y fructífera transformación siguiente:

$$\Delta Y = \frac{Y}{B} \cdot \frac{\Delta\pi}{f} \cdot Y \qquad (24)$$

en la que reemplazando Y/B por su valor ν y haciendo $\Delta\pi/f = \rho$ –que denominamos "coeficiente de rendimiento instrumental"– tenemos:

$$\Delta Y = \nu \cdot \rho \cdot Y \qquad (25)$$

que es la (24) "linealizada", especialmente apta para representarla en un ábaco constituido por rectas.

Pero antes de detallar el modo de hacerlo pongamos de manifiesto la capital trascendencia del coeficiente $\rho = \frac{1}{\lambda_\rho}$. Este número, cociente de dos longitudes –$\Delta\pi$ y f– caracteriza inconfundible y métricamente las posibilidades "parálacticas" del instrumento de campo (cámara fotogramétrica) –de cuya constante focal depende el máximo valor de π– (ver (7)), y las del instrumento de gabinete (restituidor analógico o estereocomparador) de cuyo error m_π depende el mínimo valor de π (ver (13) y (13')). En rigor el cociente $\rho = \frac{\Delta\pi}{f}$ expresa la capacidad angular de definición (en radia-

nes) del conjunto instrumental de campaña y de gabinete que nos proporcionará y reconstruirá las direcciones conjugadas $O_1P - O_2P$ que por intersección determinarán la posición de los puntos P en el sistema local O_1 (X, Y) de la base B.

Por otra parte con la (25) podemos finalmente establecer con rapidez y rigor el valor máximo de ν, el que se puede exigir así en función de $Y_{máx}$, (distancia al terreno más lejano a restituir), el error $\Delta Y_{máx}$ aceptado para la misma, y el valor $\Delta\pi$ con que, en condiciones de máxima exigencia, el instrumento de restitución mide las paralajes π en fotogramas obtenidos con cámara de constante focal f.

Escribiendo la (25) así (referida a errores medios):

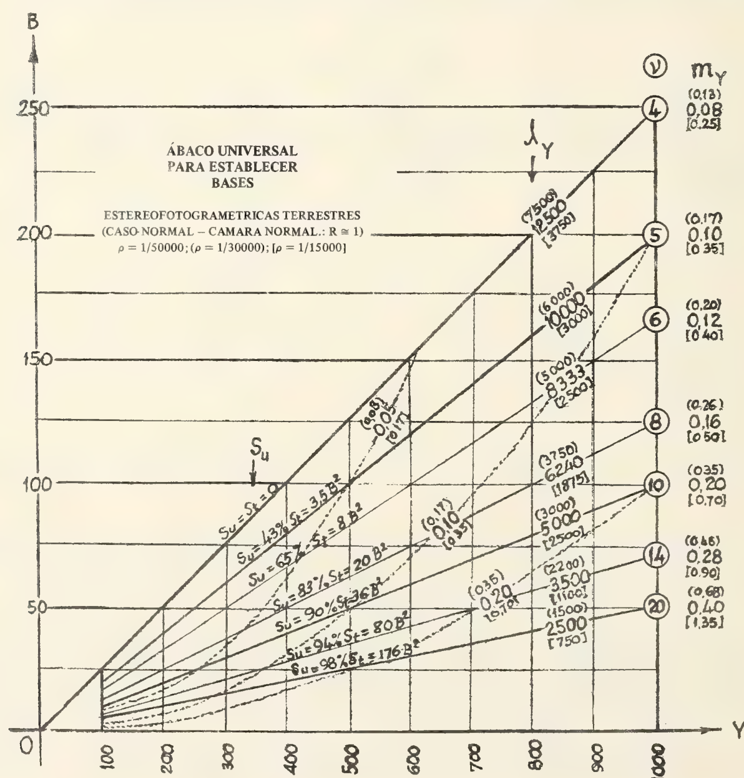
$$\frac{m_Y}{Y} = m_{\epsilon Y} = \frac{1}{\lambda_Y} = \nu \cdot \frac{1}{\lambda_\rho} \tag{26}$$

se obtiene:

$$\boxed{\nu = \frac{\lambda_\rho}{\lambda_Y}} \tag{27}$$

como cociente de los módulos de precisión λ_ρ (del "coeficiente ρ de rendimiento instrumental") y λ_Y (del error medio relativo en Y), cociente que es la expresión más simple y completa que suministra en cada caso el valor máximo de ν.

Y la (25) además, con solo proceder como a continuación se indica, permite construir el ABACO UNIVERSAL citado en lo que antecede y es objeto del presente trabajo. (ver gráfico adjunto). Fig. 3.



De las ecuaciones $\Delta Y = \nu\rho Y$ (25) y $\Delta Y = \nu Y'$ (25') –en la que $Y' = \rho Y$– resulta que, elegido un par de ejes coordenados rectangulares O (Y, B) y fijado determinado valor a ρ, a cada semi-recta del primer cuadrante de tal sistema que pase por el origen O, corresponde siempre un cierto número $\nu = \frac{Y}{B}$; pero en el Abaco, de acuerdo con las consideraciones efectuadas en Fundamentos Generales sobre el valor mínimo de ν, no aparecen semi-rectas que correspondan a un número menor que 4. Así pues, todos los puntos de cualquiera de ellas dan, con sus coordenadas Y, B la longitud de B para determinada Y, cumpliéndose $Y = \nu B$. Luego propuesto arbitrariamente un valor Y, es inmediato obtener B utilizando a tal efecto la semi-recta ν.

Además, como de (25') resulta $\frac{m_Y}{Y'} = \nu$, a cada semi-recta ν puede adjudicársele el valor ϵ_Y inherente a cualquiera de sus puntos pues m_Y varía linealmente con Y a lo largo de ν. En el Abaco se han puesto los valores m_Y para Y = 1000 junto a los ν respectivos que aparecen en la abscisa precitada, bastando multiplicar cualquiera de los m_Y por la relación Y/1000 para obtener el m_Y correspondiente a la abscisa Y elegida. En la semi-recta ν quedará inserto el módulo λ_Y indicador del error relativo $\frac{m_Y}{Y} = \rho\nu$. Con esta información se puede conocer rápidamente el error relativo m_{ϵ_Y} –y por tanto el absoluto m_Y– de un punto cualquiera P que haya sido restituido con la base B a distancia Y de la misma.

Completando estas indicaciones corresponde agregar que, por otra parte, cada semi-recta ν puede también ser representativa de la función $S_u = X B^2$ ya que X es, como se explicó oportunamente, función de ν exclusivamente. Este hecho permite asignar a cada semi-recta ν el valor numérico de X indicando, además, el rendimiento superficial η que el mismo origina.

Finalmente, en el Abaco así confeccionado es posible –y conveniente– trazar líneas que sean lugar geométrico de determinados valores m_Y. Estas líneas son arcos de parábola ya que $m_Y \cdot B = \rho Y^2$; y pueden obtenerse rápidamente por coordenadas partiendo de la expresión $\lambda_\rho \frac{m_Y}{Y} = \nu$. Con ésta, elegido el m_Y deseado, para una distancia Y cualquiera, tendremos en el Abaco la semi-recta correspondiente al error relativo: $\epsilon_Y = \frac{m_Y}{Y} = \frac{1}{\lambda_Y}$ cuyo módulo λ_Y está indicado en la misma; y en ella está también el valor ν que le corresponde. Dividiendo Y por ν se tiene de inmediato la ordenada B del punto que sobre la semi-recta ν tiene el valor m_Y del arco de parábola que se está construyendo.

Queda pues, con cuanto precedentemente se deja expuesto, referida en detalle la forma de construir un Abaco que, para cierto valor del coeficiente ρ y atendiendo a las dos exigencias básicas propuestas en cada caso –$Y_{máx}$ (alejamiento máximo del terreno a levantar con Estereofotogrametría Terrestre) y m_Y (error medio planimétrico que se acepta en el levantamiento)– permite determinar el valor más conveniente de la base B (normal) que puede satisfacerlas, y además conocer su rendimiento superficial, así como también datos complementarios que informan sobre los resultados que podrán esperarse al efectuar la restitución de los fotogramas que en dicha base se impresionen.

En resumen, conocidos ρ, $Y_{máx}$ y m_Y el Abaco proporciona:

1 – Valor máximo de $\nu = \frac{Y}{B}$

2 – Valor mínimo de $B = \frac{Y}{\nu}$

3 – Superficie útil $S_u = X B^2$ y rendimiento superficial $\eta = \frac{S_u}{S_t}$

Y para cualquier punto restituido con la base B:

4 – Módulo de precisión planimétrica $\lambda_Y = \frac{Y}{m_Y}$
y consecuentemente

5 – Error medio planimétrico m_Y

6 – Determinación inmediata de la paralaje $\pi = m_\pi \times \lambda_Y$

7 – Lineas lugar geométrico de puntos con igual error medio m_Y

Dando término al presente, se destacan a continuación tres características particularmente ventajosas de este Abaco, a saber:

1 – El Abaco se construye siempre –según se ha indicado más arriba– para un determinado valor de $\rho = \frac{m_Y}{f}$. Uno de los más utilizados es $\rho = \frac{1}{50000}$, válido tanto para m_π = 3 μm y f = 150 mm como para m_π = 4 μm y f = 200 mm o para m_π = 6 μm y f = 300 mm. En los tres casos la definición angular del equipo instrumental campaña-gabinete es, por tanto, de 4" sexagesimales, y la información del Abaco es totalmente válida para los tres.
Otros valores frecuentes de ρ son 1/30000 (m_π = 5 μm, f = 150 mm o m_π = 3 μm, f = 90, con definición angular de 7" sexagesimales) y 1/15000 (m_π = 3 μm, f = 45 mm, o m_π = 10 μm, f = 150 mm con definición angular de 15").
En el modelo de Abaco que se acompaña figuran tres series de valores m_Y y λ_Y que se corresponden: una sin paréntesis para ρ = 1/50000; la segunda con ellos para (ρ = 1/30000) y la tercera con corchetes para [ρ = 1/15000]. El Abaco puede utilizarse así para cualquiera de los tres casos.

2 – Toda la información numérica que proporciona el Abaco y se refiere a longitudes o superficies (m_Y, Y, B, S_u) vale para cualquier clase de unidades por cuyo motivo no se ha indicado ninguna expresamente, quedando así a cargo de quien lo utilice elegirla en cada caso según sea la que mejor sirva a sus propósitos (metros, yardas, kilómetros, centímetros, millas, pulgadas, hectáreas, acres, etc.)

3 – El Abaco es válido sin alteraciones en ámbitos mayores o menores del que aparece en el modelo adjunto. Para cambiar sus límites de validez tan solo es necesario multiplicar o dividir por un mismo número todos los que aparecen en las escalas m_Y, Y, B, manteniéndose invariables los correspondientes a ν, λ_Y y X. Con ello se amplia prácticamente en forma ilimitada, sin restricciones, su campo de utilización, incluyendo en él la llamada Estereofotogrametría cercana y también la micro-Estereofotogrametría.

APENDICE I

Sobre la variación de la función $S_u = f(\nu)$

Es de interés conocer algunos aspectos de la variación de la función (18) $S_u = X B^2$ que proporciona la superficie útil cubierta con el par de fotogramas obtenidos en los extremos de la base B.

Ya se vio al establecer la precitada (18) que en el caso más frecuente (cámara de Angulo Normal, A N − R $\simeq$ 1) la expresión de S_u es:

$$S_u = \frac{1}{2}[(\nu - 1)^2 - 9] B^2$$

Para que el operador proceda sin vacilaciones al utilizar el ABACO en lo que a este respecto se refiere, sería del caso estudiar matemáticamente las variaciones de S_u correspondientes a las de ν y B^2.

Tal estudio, que no es complejo pero sí un tanto extenso, desbordando con exceso lo necesario para la práctica estereofotogramétrica, cae, desde luego, fuera de los límites del presente trabajo y puede hacerse –en razón del moderado intervalo dentro del cual varía ν– simplificándolo y reduciéndolo a la consideración de dos casos básicos, a saber:

– a) Variación de S_u para m_Y constante; y
– b) Variación de S_u para valores constantes de Y.

Es evidente que el análisis de variación de $S_u = X B^2$ encarádo como se deja esbozado en lo que precede, se torna razonablemente accesible, bastando señalar que la variación de S_u surgirá de la variación que ofrezcan los dos factores que la determinan y son $X = \frac{1}{2}[(\nu - 1)^2 - 9]$ y B^2.

De X puede afirmarse de inmediato que a partir de $\nu = 4$ es función creciente de ν^2; y en cuanto a la variación de B^2 con ν, atendiendo a los dos casos a) y b) propuestos, se tiene:

a) para m_Y constante, sustituyendo Y en la (25) por su igual νB,

$$m_Y = \nu^2 B \rho; \text{ o sea } B^2 = \frac{m_Y{}^2}{\nu^4 \rho^2};$$

por tanto para m_Y constante B^2 es función inversa de ν^4.

b) para Y constante, como $B^2 = \frac{Y^2}{\nu^2}$, es B^2 función inversa de ν^2.

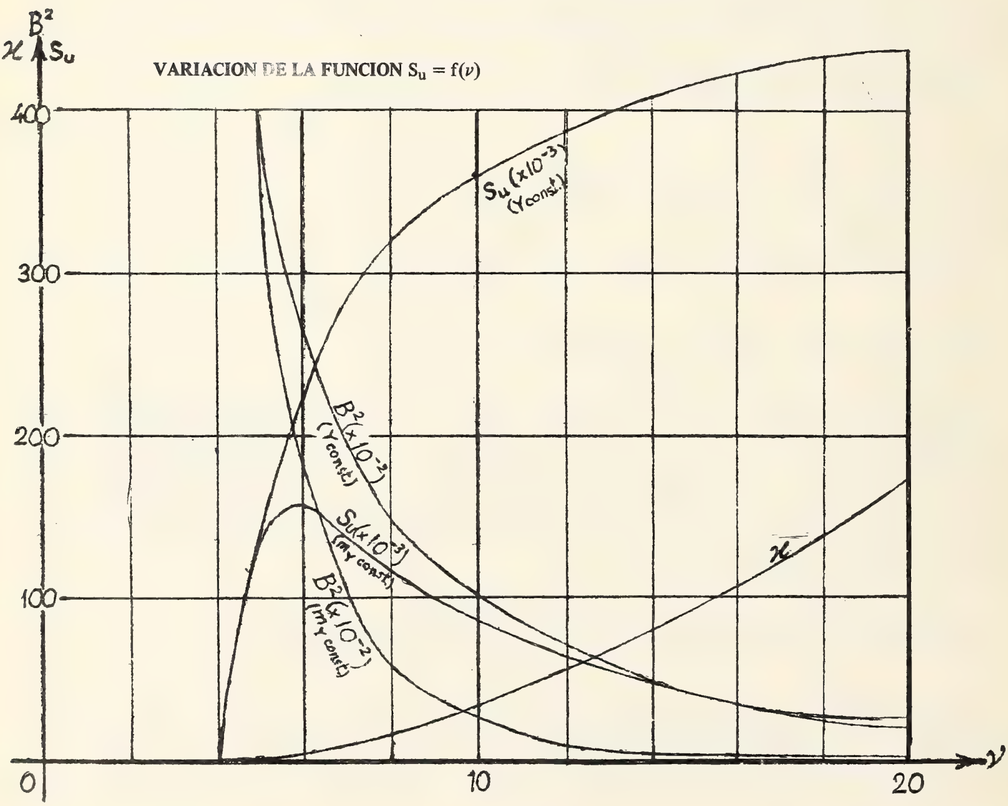
Queda pues por saber que sucede con el producto $S_u = X B^2$ en cada uno de los dos casos considerados. Y ello es lo que interesa pues mientras el producto $S_u = X B^2$ es para Y constante siempre creciente con ν a partir de $\nu = 4$, para m_Y constante resulta que siendo cero para $\nu = 4$ crece con rapidez hasta $\nu = 5{,}8$ para decrecer después, llegando casi a cero algo más allá de $\nu = 30$, valor este de ν, por otra parte, que puede considerarse con sobrada amplitud límite superior de las necesidades estereofotogramétricas.

Además, puede demostrarse fácilmente que los valores S_u correspondientes a Y constante son siempre mayores que los S_u de igual ν correspondientes a m_Y constante, siendo iguales para $\nu = 5$.

Con el Gráfico Adjunto (fig. 4) y la Tabla Comparativa de Valores que se acompaña se tendrá idea completa de lo que sucede en materia de variaciones de S_u como consecuencia de las de ν y las de B^2, y que atento a lo indicado en el párrafo anterior, siempre es más ventajoso trabajar a $Y_{máx}$ constante que a la Y que en cada caso corresponda para cada valor m_Y de error planimétrico.

TABLA COMPARATIVA
DE
VALORES "S_u"

m_Y = constante								Y = constante						
ν	m_Y	λ_Y	Y	B	S_u	B^2	$\varkappa$	B^2	S_u	B	Y	λ_Y	m_Y	ν
4		12500	1250	312	0	97600	0	62500	0	250		12500	0,08	4
5		10000	1000	200	140000	40000	3,5	40000	140000	200		10000	0,10	5
5,8		8620	862	149	155000	22100	7	29700	208000	173		8620	0,116	5,8
6		8340	834	139	154000	19300	8	27800	222000	166		8340	0,12	6
8		6240	624	78	122000	6100	20	15600	312000	125		6240	0,16	8
10	m_Y = 0,10 = const.	5000	500	50	90000	2500	36	10000	360000	100	Y = 1000 = const.	5000	0,20	10
12		4200	420	35	67000	1200	56	6900	386000	83		4200	0,24	12
14		3500	350	25	52000	650	80	5100	408000	71		3500	0,28	14
16		3200	320	20	41000	380	108	3900	421000	63		3200	0,32	16
18		2800	280	15 5/7	34000	240	140	3080	431000	56		2800	0,36	18
20		2500	250	12 5/7	27000	156	176	2500	440000	50		2500	0,40	20



APENDICE II

Utilización del "ABACO UNIVERSAL" para establecer las condiciones de obtención de aerofotogramas horizontales con base horizontal. (Fotogrametría Aérea - Caso Normal)

El ABACO UNIVERSAL que se ha descripto también puede utilizarse –con ligeras variantes– en la Fotogrametría Aérea de aerofotogramas horizontales. En principio, naturalmente, en el sistema local de coordenadas O_1 (B, Y) hay que efectuar el consabido cambio de variable Y por Z, con lo que pasa a ser O_1 (B, Z).

Pero con ser esto necesario, no es por sí lo más importante pues, como podrá verse enseguida, dada la modalidad del caso aerofotogramétrico que nos ocupa, lo que debemos establecer en lugar del valor B es su equivalente σ, valor de la superposición longitudinal de la imagen común del terreno en dos aerofotogramas sucesivos.

Procediendo en forma similar a lo hecho con la Estereofotogrametría Terrestre, donde el problema se ha resuelto partiendo de $Y_{máx}$ y m_Y, aquí debemos iniciarlo con el conocimiento forzoso de m_Z y $Z_{máx} = H$ (altura media del vuelo fotográfico sobre el terreno que aparecerá en los aerofotogramas).

De estos dos valores, solamente m_Z (valor medio de la indeterminación aceptada para la Z de cada punto restituido), puede fijarse a voluntad, pues $Z_{máx} = H$, a semejanza de $Y_{máx}$, en el caso terrestre, queda impuesto por las circunstancias del trabajo que se realice el cual, mientras en la Estereofotogrametría Terrestre depende de la distancia existente hasta el terreno más alejado de la base a establecer para restituirlo, aquí –teóricamente– no hay límite para $Z_{máx}$, y H habría de ser tan grande como el "techo" útil de trabajo permitido por el avión fotográfico. Si se obrara en esta forma, hay que recordarlo, se obtendrían aerofotogramas cuya escala media de imagen E_ϕ sería muy pequeña; demasiado como para satisfacer las exigencias planimétricas del levantamiento que se desea ejecutar a escala E_L con dichos aerofotogramas.

Luego para completar el par de valores *indispensables* (m_Z y $Z_{máx} = H$) debemos considerar la forma de fijar este último. Y teniendo en cuenta que $H = f \cdot D_\phi$ saber con certidumbre qué escala E_ϕ será apta para elaborar la restitución del levantamiento a escala E_L de modo que los detalles planimétricos que interese situar o restituir sean a escala E_ϕ de dimensión tal que la vacilación planimétrica Δp que de ello resulte en la escala E_L no afecte el error gráfico Δg establecido previamente para la misma.

Y aquí estamos ante un problema de carácter teórico-práctico que se resuelve con una buena dosis de experiencia a la que hay que recurrir sin remedio.

Este problema tiene un planteo elemental: conocer la función $E_\phi = f(E_L)$ –o su equivalente $D_\phi = f(D_L)$– la cual, tras numerosos intentos y larga experiencia acumulada se ha materializado en

$$D_\phi = K (D_L \cdot 10^{-3})^{\frac{1}{2}} = K (M_L^{\frac{1}{2}}) \qquad (28)$$

en la cual K es una constante semi-empírica que nosotros hemos fijado en:

$$K = 1200 \sqrt{\lambda_\rho \cdot 10^{-3}} = 1200 \sqrt{M_{\lambda_\rho}}$$

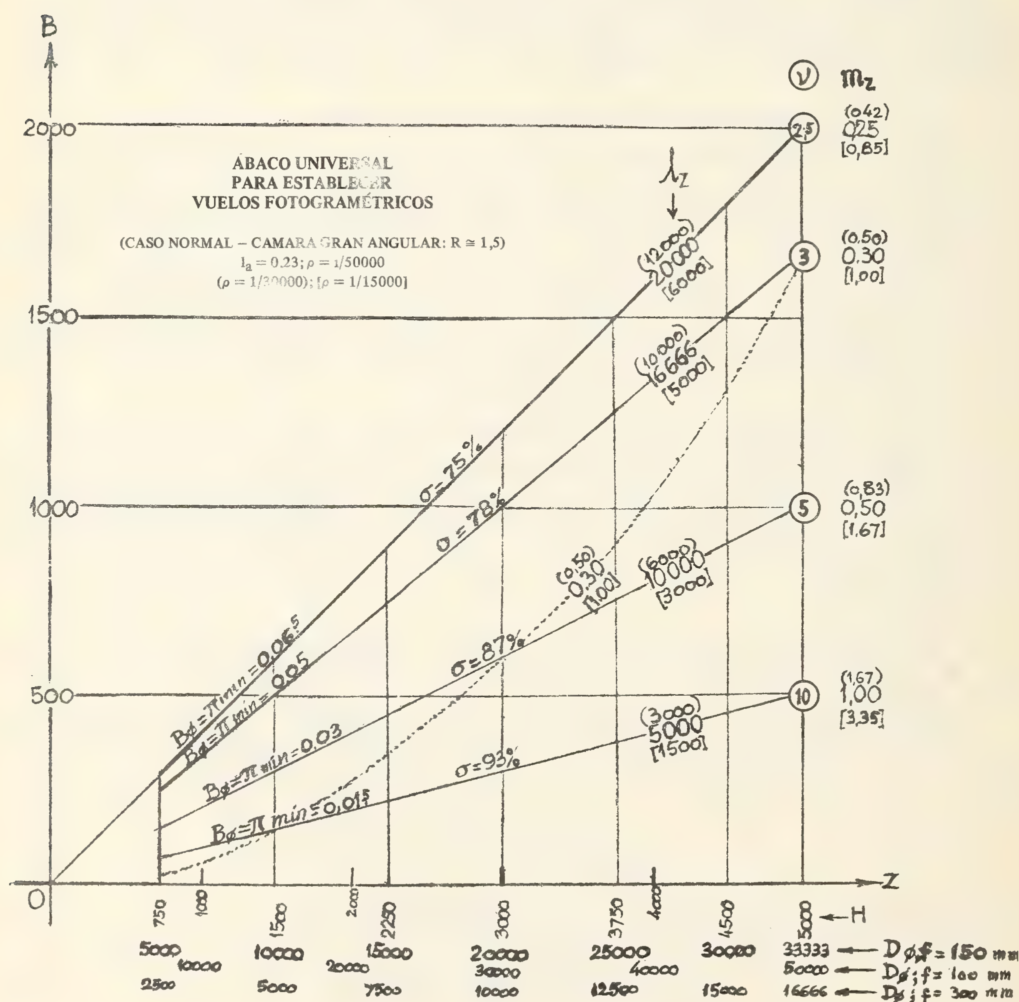
con excelentes resultados.

$$\text{Es decir:} \qquad D_\phi = 1200\sqrt{M_{\lambda_\rho}} \cdot \sqrt{M_L}$$

Por tanto en esta forma podemos entrar a preparar y utilizar el ABACO UNIVERSAL en su variante para Aerofotogrametría (caso normal) como se explica a continuación. (Véase gráfico adjunto). Fig. 5.

La ecuación básica (25) es ahora $\Delta Z = \nu\rho Z$ (25 bis), por lo que el ABACO consiste en un sistema de ejes coordenados rectangulares O (B, Z).

El valor ρ con el que este gráfico se construye es $\rho = 1/50000$ para $m_\pi = 3\ \mu m$ y f = 150 mm, correspondiente a cámara aerofotogramétrica de constante focal f = 150 mm y lado del fotograma cuadrado l_a = 230 mm.



Las semi-rectas ν que pasan por el origen están ahora limitadas por los valores:

$$2{,}5 < \nu < 10 \quad (*) \qquad (29)$$

pues estos resultan de:

$$\nu = \frac{\lambda_\rho}{\lambda_Z}$$

que para las constantes precedentes y los que corresponden a m_{ϵ_Z} y E_ϕ (éstos como se ha indicado más arriba), dan: $20000 > \lambda_Z > 5000$.

De este modo $B_\phi = \pi_{mín} = \frac{f}{\nu} = \beta\, l_a$ donde B_ϕ es la imágen de la base B en los aerofotogramas a escala E_ϕ y β el "Coeficiente de Base"; por tanto:

$$60 \text{ mm} > B_\phi = \pi_{mín} > 15 \text{ mm}$$

De aquí, para la superposición longitudinal σ de dichos aerofotogramas cuya base es B:

$$\sigma = 1 - \beta, \qquad \text{y de inmediato}$$

$$\sigma\,\% = \frac{l_a\,(1-\beta)}{l_a} \times 100$$

lo cual, para los valores (29) da:

$$75\,\% < \sigma < 95\,\%$$

Con la inscripción de los debidos valores m_Z, Z, λ_Z, D_ϕ, β, σ y B, tenemos la posibilidad de que el ABACO proporcione así la solución inmediata y completa del problema aerofotogramétrico propuesto.

Ejemplo

Levantamiento aerofotogramétrico a efectuarse en escala $E_L = 1/5000$, con error medio $m_Z = 0{,}3$ m. Cámara métrica, constante focal $f = 150$ mm, fotograma de lado $l_a = 230$ mm. Coeficiente ρ de rendimiento instrumental $\rho = 1/50000$ ($m_\pi = 3\ \mu$m). Se tiene:

$$D_\phi = 1200\sqrt{M_{\lambda\rho}} \cdot \sqrt{M_L} = 1200\sqrt{50}\cdot\sqrt{5} \cong 18500 \rightarrow 20000$$

(*) Para no forzar la observación estereoscópica del operador de restitución conviene, como ya se indicó para la Estereofotogrametría Terrestre en Fundamentos Generales, que ν no sea menor de 4, en cuyo caso λ_Z no debe sobrepasar 12.500

Pero sin entrar en pormenores que salen de los límites de este breve Apéndice, debo dejar constancia de que en el caso normal de la Aerofotogrametría es posible, en determinadas condiciones, efectuar visión estereoscópica sin fatiga hasta en el valor límite $\sigma = 50\,\%$ para el cual: $\pi_{mín} = \frac{l_a}{2}$ y $\nu = \frac{2f}{l_a} = \frac{2}{R}$.

Luego, si $\lambda_\rho = 50.000$, $l_a = 230$ mm y $f = 150$ mm ($R \cong 1{,}5$),
se tendrá $\nu = 1{,}33$, $\pi_{mín} = 115$ mm y $\lambda_Z = 38000$.

y de aquí:

a) Escala $E_\phi = 1 : 20000$

b) $H = Z_{máx} = f \cdot D_\phi = 150 \text{ mm} \times 20000 = 3000 \text{ m}$

c) $\lambda_z = \dfrac{Z_{máx}}{m_Z} = \dfrac{3000 \text{ m}}{0{,}3 \text{ m}} = 10000$

d) $\nu = \dfrac{\lambda_\rho}{\lambda_Z} = \dfrac{50000}{10000} = 5$

e) $B = \dfrac{H}{\nu} = \dfrac{3000}{5} = 600 \text{ m}$

f) $B_\phi = B \times E_\phi = 600 \text{ m} \times 1/20000 = 30 \text{ mm}$

g) $\pi_{mín} = \dfrac{f}{\nu} = \dfrac{150 \text{ mm}}{5} = 30 \text{ mm}$

h) $\sigma = \dfrac{l_a - B_\phi}{l_a} = \dfrac{230 \text{ mm} - 30 \text{ mm}}{230 \text{ mm}} = 87\,\%$

BIBLIOGRAFIA

H. LUSCHER - Fotogrametría (Traducción) - Barcelona 1926.
F. OLLIVIER - La Topographie sans topographes - Paris 1929.
C.F. BAESCHLIN, M. ZELLER - Traité de Stéreo-Photogrammétrie - Zurich-Nancy 1934.
P. DORE - Fondamenti di Fotogrametria Bologna 1938.
R. DANIEL - La Photogrammétrie Apliquée à la Topographie - Paris 1952.
F. DOMINGUEZ GARCIA-TEJERO - Topografía General y Apli. - Madrid 1963.
K. SCHWIDEFSKY - Grundriss der Photogrammetrie - Stuttgart 1963.
W. JORDAN - Handbuch der Vermessungskunde - 10ª edi. T.3 - Stuttgart 1972.
H. BONNEVAL - Photogrammétrie Générale - Paris 1972.
J. ALBERT y W. KREILING - Manual Fotogramétrico de Bolsillo - Karlsruhe 1975.

SERIE I. CIENCIAS N° 41 ISSN 0037-8437

"SCATTERING" BRILLOUIN NORMAL EN BENCENO"

por *Jorge O. Ratto* y *J. F. Westerkamp**
Departamento de Física, FCEN (UBA)
Lab. de Electrónica Cuántica

"Difusión Brillouin normal en benceno"

RESUMEN

Se describen las características salientes del fenómeno y el desarrollo de una experiencia de dispersión de luz a 90 ° en benceno en la cual se utilizó un laser de He-Ne de 4 mw, y como resultado de la cual se midió la velocidad del fonón responsable del scattering.

SUMMARY

The main characteristics of the phenomenon and the development of a scattering experiment of light at 90 ° in Benzene are described; a 4 miliwatt He-Ne Laser was used. The speed of the phonon responsible for the scattering was measured.

I – INTRODUCCION

El criterio más aceptado para clasificar los distintos casos de dispersión de la luz es dividirlos en: elásticos e inelásticos según se conserve o cambie la frecuencia de la radiación original, respectivamente. Al primer grupo corresponden la difusión Rayleigh y Tyndall, y al otro, la Raman y Brillouin.

La difusión Rayleigh consiste en la dispersión de la luz por objetos cuyas dimensiones lineales son pequeñas respecto de la longitud de onda incidente. De esta forma, por ejemplo, las moléculas que componen los distintos gases presentes en la atmósfera terrestre dispersan la luz solar, debiéndose el color del cielo al scattering preferencial de la luz azul.

Cuando los centros dispersores son partículas de polvo u otras impurezas pequeñas del medio, estamos en el caso Tyndall. El mecanismo es análogo al del anteriormente descripto, sólo que aquí la intensidad difundida es mucho mayor dado que la sección eficaz depende del volumen del objeto dispersor.

En el espectro Raman se observa una línea relativamente intensa cuya frecuencia no varió respecto de la incidente, y componentes de frecuencias menores (stokes) y mayores (anti-stokes), originadas éstas comúnmente por la excitación de los modos vibracionales o rotacionales de la molécula o por procesos de desexcitación, respectivamente. El orden del corrimiento espectral varía de 10^2 a 10^3 cm^{-1}.

En 1914 (ref. 1) L. Brillouin mostró que era posible que las fluctuaciones de densidad presentes en un medio difundiesen la luz que sobre él incidiera, dando lugar a un doblete (una componente

*Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET.

Stokes y la otra anti-Stokes). Este fenómeno se denomina hoy efecto Brillouin normal, puesto que las mencionadas fluctuaciones se hallan presentes por la excitación térmica del material.

Más recientemente (ref. 2) y con el advenimiento de los láseres pulsados, se mostró que era factible generar lo que se ha dado en llamar efecto Brillouin estimulado. En el mismo, el intenso campo eléctrico actuante puede ejercer una fuerza mecánica sobre las moléculas del medio (electrostricción) originando ondas sonoras que pueden contribuir (además de las termales) a causar nuevas dispersiones, lográndose así que la luz difundida se aproxime en intensidad a la incidente. Estas ondas producidas por electrostricción en el caso de sólidos, están típicamente en el rango de frecuencia de 20 KHz, con un pico de potencia de 1 Kwatt. El corrimiento, en número de ondas, está comprendido entre 0,01 a 1 cm^{-1} (tanto para el normal como para el estimulado).

II – TEORIA

Brillouin se basó en un modelo clásico, similar al usado para explicar la difracción de rayos X en cristales. Supuso que los máximos de una onda de sonido constituyen una "red", en la cual la luz incidente se difractará. La difusión en una cresta de la onda de sonido será débil, pero en una dirección específica (la determinada por la relación de Bragg) interferirán constructivamente las dispersiones ocurridas en los sucesivos máximos de la onda (fig. 1). Así se obtiene que:

$$\Delta f = \pm\, 2n \frac{v}{c} f_0 \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} = f_F \tag{1}$$

donde "ρ" es el ángulo de difusión, "n" es el índice de refracción de la muestra; "v" la velocidad de la onda sonora; "f_0" la frecuencia de la luz incidente, "Δf" es el cambio en su frecuencia y "c" es su velocidad en el vacío.

Desde el punto de vista cuántico se describe al proceso como una colisión inelástica entre un fotón incidente y un fonón, de energías $\hbar\omega_0$ y $\hbar\omega_F$ respectivamente (fig. 2). La conservación de la misma exige que:

$$\hbar\omega_0 = \hbar\omega_S \pm \hbar\omega_F \tag{2}$$

expresándose la conservación del impulso lineal como:

$$K_0 = K_S \pm K_F \tag{3}$$

en donde "+" corresponde al caso Stokes (creación de un fonón), "—" al anti-Stokes (aniquilación de un fonon) y el sub-índice "s" al fotón dispersado. A partir de (3) (usando el teorema del coseno) se llega a (1).

Los primeros experimentadores sobre el tema observaron que, además del doblete predicho, aparecía una línea central sin corrimiento en frecuencia respecto de la luz original (línea "Rayleigh"). La explicación de esto se basa en argumentos termodinámicos (ref. 3). La sección eficaz de la difusión Brillouin resulta ser proporcional a la media cuadrática de las fluctuaciones de la constante dieléctrica del material, interpretándose que se debe a dos contribuciones. En todo medio hay presentes fluctuaciones adiabáticas de la presión. Como éstas son propagantes, de acuerdo a (1) deben ser las responsables del doblete Brillouin. Por otra parte, también hay fluctuaciones isobáricas de la entropía. Como las mismas no son propagantes, (difunden) según (1), originarán la línea

central sin corrimiento (línea "Rayleigh"). Identificadas así las dos contribuciones al proceso, y utilizando la teoría de las fluctuaciones de las variables termodinámicas, es posible evaluar la sección eficaz de "scattering" y en términos de propiedades macroscópicas del medio.

III: EXPERIENCIA Y RESULTADOS

De (1) vemos que es factible conocer la velocidad del fonón responsable de la difusión, si se mide el corrimiento en frecuencia entre la luz incidente y la dispersada. Con tal propósito se montó el aparato esquematizado en la fig. 3.

Se iluminó el benceno con un laser Spectra Physics de He-Ne que emite en 6328 Å y cuya potencia es de 4 mw operando como monomodo. Se polarizó la luz incidente sobre la sustancia a analizar mediante un nicol. Luego de la plataforma que sostenía la muestra, se dispuso un espejo (R = 0,95) con el propósito de que la radiación del laser volviera a pasar por el benceno (según (1), si $\theta = 0$ no varía la frecuencia), aumentando así la intensidad incidente. Sobre otro banco óptico se ubicó una lente de distancia focal 200 mm. y a continuación de ella, un Fabry-Perot con láminas de vidrio de 6 cm. de diámetro y separadas en 6,236 mm.

Como el efecto Brillouin es una interacción ineficaz, es decir, típicamente sólo de 10^{-5} a 10^{-7} de la intensidad de la luz incidente sobre un líquido es dispersada, adquiere relevancia el factor de transmisión que posea el interferómetro. Teniendo presenta la planicidad de las láminas, el espaciamiento entre las mismas y el orden de magnitud del desplazamiento en frecuencia que se esperaba medir, se determinó la fineza por reflexión necesaria para resolver los anillos de interferencia. Se eligió un recubrimiento para los vidrios de ZnS y MgF_2 dispuesto en forma $(HL)^3H$ de manera tal de obtener la fineza requerida ($\cong 18$) y al mismo tiempo, la mayor transmisión posible.

Inmediatamente detrás del Fabry-Perot se colocó una cámara fotográfica Nikon con un teleobjetivo de 200 mm, empleándose película pancromática Kodak Tri-X; resultando 105 minutos el tiempo óptimo de exposición.

Dado que esta difusión es direccional (ver (1)), debe definirse correctamente la dirección de observación. Así, mediante el uso de un prisma de ángulo recto situado en el lugar de la muestra, se determinó el plano y la dirección de dispersión, respecto de los cuales se alineó ópticamente en forma conveniente a cada uno de los elementos.

En algunas fotografías aparecieron manchas oscuras debidas a reflejos producidos en los bordes de la celda. Para solucionar ésto, se retiró provisoriamente la cámara y se la reemplazó por una lente (fija) de 200 mm. de distancia focal, situándose una pantalla en su plano focal. Se dispuso un buen difusor de luz de igual tamaño y en el mismo lugar que la celda (pues si se usaba ésta no era posible ver a simple vista el diagrama de interferencia). Se desplazó luego la lente montada entre la muestra y el interferómetro hasta lograr desfocalizar sobre la pantalla el objeto difusor, dejándosela "a posteriori" en dicha ubicación al volver a armar el aparato.

A partir de la medición de los diámetros de los anillos en las fotos realizadas, se determinó el corrimiento en frecuencia. Reemplazándolo en la ecuación (1) permitió obtener como velocidad del fonón (1404 ± 142) m/seg, para venceno a T = 21°C y 90° como ángulo de scattering.

Mediante el método de detección por recuento de fotones (ref. 4) es posible mejorar la precisión de las mediciones y obtener mayor información sobre el material estudiado. El proceso es el siguiente: La luz proveniente del Fabry-Perot (se usa "de barrido") es focalizada en un fotomultiplicador; éste provoca a su salida una fotocorriente, la cual es linealmente amplificada. Se suele intercalar aquí un discriminador de canales para eliminar el ruido del sistema. A continuación, un contador provee una señal contínua proporcional a la cantidad de pulsos que salen del discriminador. Finalmente, se obtiene el espectro de la difusión gracias a un graficador. Se dijo que las com-

ponentes desdobladas se interpretan como causadas por ondas de sonido. Como éstas sufren absorción en el medio, su disipación determinará el ensanchamiento de dichas componentes. Así pues, a partir de un espectro, y midiendo el ancho mitad de las líneas Brillouin, se obtiene información sobre el coeficiente de absorción acústico. De la misma forma, las fluctuaciones de entropía responsables de la línea central, al sufrir difusión, la ensancharán. El correspondiente ancho mitad resulta proporcional al coeficiente de difusión térmica.

La medición de la sección eficaz totalmente (componente central y doblete) y la atribuible al doblete solamente, permite evaluar, por ejemplo, el cociente entre la capacidad calorífica específica de la sustancia a presión y a volumen constante, y la constante electrostrictiva (esta última, referida a un medio patrón).

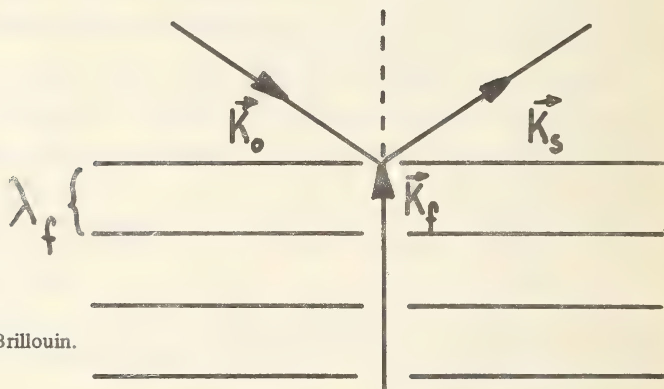


Fig. 1: Modelo clásico del scattering Brillouin.

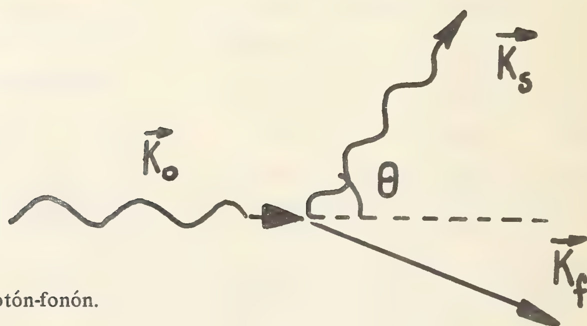


Fig. 2: Modelo cuántico, colision inelástica fotón-fonón.

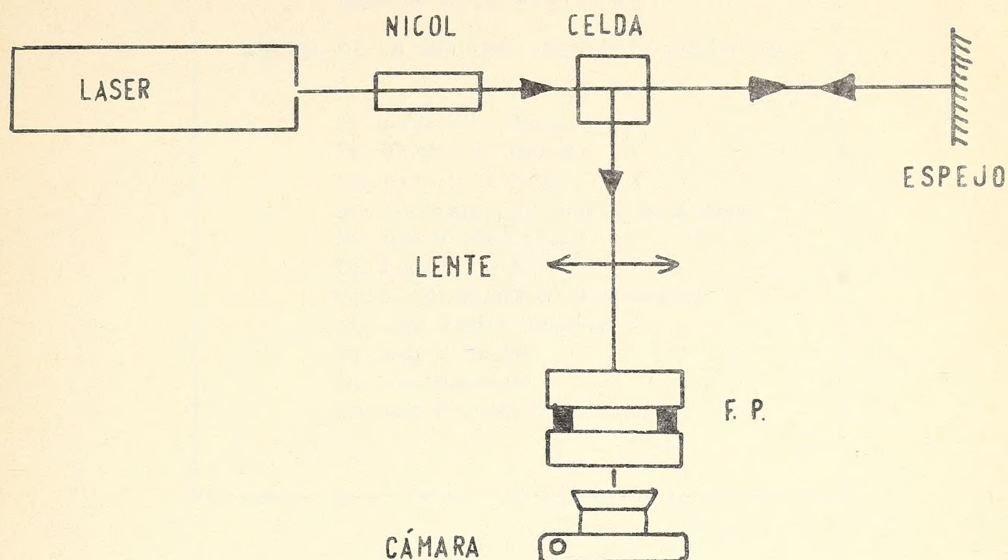


Fig. 3: Esquema de la disposición experimental utilizada.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores se complacen en agradecer útiles conversaciones con el Dr. Juan M. Simón. Agradecen asimismo al Dr. Máximo Barón el haberles proporcionado una muestra de benceno de elevada pureza. Agradecen también al Dr. Quel, del Lab. Laser, de CITEFA, el tratamiento semireflector del Fabry Perot.

REFERENCIAS

1) L. Brillouin, L. C. Hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris, *158*, 1331, 1914.
2) R. Chiao y C. Townes, Phys. Rev. Let., *12*, pag. 592, 1964.
3) L. Landau y G. Placzek, Phys. Z. Sowjet, *5*, 172, 1934.
4) Benedek y Lastovka, J. Opt. Soc. Am., *54*, pág. 1284, 1964.

NORMAS PARA LOS AUTORES

1. ANALES publica unicamente trabajos originales e inéditos ; solamente por excepción podrá incluir trabajos cuya noticia se haya dado por otra publicación.
2. La publicación en ANALES es gratuita. Las separatas que soliciten los autores (o las entidades a que estén vinculados) son con cargo a los mismos. El requerimiento deberá hacerse por escrito y antes de iniciar la impresión.
3. Los autores son personalmente responsables de la tesis y del contenido de sus trabajos y deberán realizar las correcciones de las pruebas de imprenta de dichos trabajos.
4. La Sociedad Cientifica Argentina se reserva el derecho de rechazar cualquier trabajo que sea sometido para publicación en ANALES, si así lo considerara conveniente.
5. Los trabajos deberán ser presentados escritos a máquina, a doble espacio, en papel tamaño oficio o carta, utilizando una sola de las caras del papel y redactados en castellano. Las fórmulas podrán ir manuscritas y deberán ser suficientemente claras para la labor de la imprenta. Los gráficos se dibujarán en tinta china, o por otro medio, de manera tal de permitir la fácil y buena preparación de los clisés ; esto último es aplicable a todo tipo de ilustración. La cantidad será la mínima compatible con las necesidades de la buena comprensión del trabajo. Se procurará que los trabajos no ocupen más de *seis páginas* de Anales en total, incluídas ilustra-ciones y tablas. La publicación de las primeras seis páginas es gratuita ; los clisés y las páginas que excedan de seis serán con cargo a los autores, de acuerdo a la disposición de fecha 4 de septiembre de 1975.
6. Los trabajos, luego de su título, llevarán un resumen en castellano y otro en idioma extranjero, éste último de no más de 150 palabras. Dichos resúmenes deberán señalar el problema planteado, la indicación de los procedimientos y procesos y las conclusiones a que se arribe, y hacer referencia sobre la precisión de los resultados, todo ello de manera sintética.
7. Los escritos originales, destinados a la Dirección de ANALES, serán remitidos a la Administración de la Sociedad, Avenida Santa Fe 1145 (1059), Capital Federal, a efectos de registrar fecha de entrega y posterior envío al Director.
8. La publicación de los trabajos, una vez aceptados, estará sujeta a las posibilidades de la Sociedad y a las exigencias de diagramación de ANALES. La Sociedad se reserva el derecho de determinar la entrega de ANALES en la cual aparecerán los trabajos.

Correo Argentino
Cent. (B)
FRANQUEO PAGADO
Concesión Nº 1186
TARIFA REDUCIDA
Concesión Nº 6247